

В.Б. Каток

І.Е. Руденко

П.М. Однорог

Київ — 2016

Каток В.Б., Руденко І.Е., Однорог П.М.

Під ред. Катка В.Б.

Висвітлені конструкції, вимоги та фізико-механічні характеристики оптичних волокон та кабелів та методи виготовлення оптичних волокон. Розглянуті основні технології прокладання та монтажу волоконно-оптичних кабелів зв'язку. Розглянуті концепції побудови оптичних мереж доступу і технології оптичних мереж. Розглянуті елементи оптичних мереж та методи вимірювання і контролю їх параметрів.

Особливу увагу приділено стандартам щодо оптичних волокон, оптичних кабелів та систем передавання.

Для інженерно-технічних працівників, що працюють в області оптичного зв'язку і студентів – зв'язківців.

© Каток В.Б., Руденко І.Е., Однорог П.М. 2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПЕРЕДАВАННЯ СИГНАЛІВ ПО ВОЛОКОННИМ СВІТЛОВОДАМ.....	8
1.1 Основні поняття геометричної оптики	8
1.2 Розповсюдження оптичної хвилі в оптичних волокнах.....	13
1.3 Основні рівняння поширення хвиль	16
1.4 Типи та конструкції оптичних волокон	18
1.5 Енергетичні та часові характеристики ОВ	19
1.5.1 Загасання світла в оптичних волокнах.....	19
1.5.2 Дисперсія сигналів в оптичних волокнах	24
1.6 Механічні характеристики оптичних волокон.....	29
1.7 Нелінійні явища в оптичних волокнах	32
1.8 Виробництво оптичних волокон	37
Перелік посилань до розділу 1.....	45
2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН.....	47
2.1 Основні типи оптичних волокон	47
2.2 Багатомодові оптичні волокна.....	53
2.3 Одномодові оптичні волокна	54
2.3.1 Характеристики одномодових ОВ з незміщеною дисперсією	54
2.3.2 Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною дисперсією	60
2.3.3 Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною довжиною хвилі зрізу.....	62
2.3.4 Характеристики одномодових ОВ з ненульовою зміщеною дисперсією	64
2.3.5 Характеристики одномодових ОВ для широкосмугових транспортних мереж	67
2.3.6 Характеристики нечутливих до втрат на згинах одномодових ОВ та кабелів для мереж доступу.....	69
2.4 Перспективні напрямки розвитку оптичних волокон	73
Перелік посилань до розділу 2.....	79
3. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ.....	81
3.1 Класифікація волоконно-оптичних кабелів зв'язку	81
3.2 Вимоги до волоконно-оптичних кабелів зв'язку та фактори впливу на конструкції ВОК.....	82
3.3 Конструктивні особливості волоконно-оптичних кабелів.....	94
3.4 Пожежна безпека кабелів.....	98
Перелік посилань до розділу 3.....	106
4 Типові конструкції волоконно-оптичних кабелів зв'язку	110
4.1 Основні елементи конструкцій ВОК.....	110
4.2 Типові конструкції	114
4.3 Основні матеріали, що використовуються при виготовленні оптичних кабелів	120
4.3.1 Фарби (“чорнила”) для оптичних волокон	122
4.3.2 Гідрофобні заповнювачі	122
4.3.3 Матеріали для скріплювання елементів осердя ВОК	126

4.3.4 Матеріали для силових елементів ВОК.....	127
4.3.5 Матеріали для комбінованих оболонок (алюмінієві та сталеві стрічки з полімерним покриттям)	129
4.3.6 Матеріали для виготовлення оболонок ВОК.....	131
4.4 Вимоги до пакування, маркування, транспортування та зберігання ВОК	133
Перелік посилань до розділу 4.....	137
5 ВИПРОБУВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ.....	139
5.1 Загальні положення (відомості).....	139
5.2 Методи випробувань на визначення передавальних та оптичних характеристик ОВ	140
5.2.1 Метод обриву	141
5.2.2 Метод втрат, що вносяться	143
5.2.3 Метод зворотного розсіювання.....	145
5.3 Методи випробувань на визначення механічних характеристик	152
5.3.1 Розтягування	152
5.3.2 Роздавлювання.....	154
5.3.3 Удар	156
5.3.4 Циклічне згинання	157
5.3.5 Осьове закручування	157
5.3.6 Петля.....	159
5.3.7 Намотування.....	159
5.4 Методи випробувань характеристик стійкості до впливу чинників довкілля	160
5.4.1 Циклічне змінення температури.....	160
5.4.2 Водопроникність.....	163
Перелік посилань до розділу 5.....	164
6 З'єднання оптичних волокон під час монтажу волоконно-оптичних кабелів зв'язку	165
6.1 Основні методи реалізації нерознімних (зварних та механічних) з'єднань оптичних волокон	165
6.2 Типи та технічні характеристики рознімних з'єднувачів ОВ (конекторів), характеристики фізичних контактів.....	181
6.3 Механізми втрат оптичної потужності в з'єднаннях оптичних волокон	187
6.4 Практичні рекомендації з вибору методів з'єднань оптичних волокон... ..	189
6.5 Алгоритм перевірки чистоти торців волокна.....	192
Перелік посилань до розділу 6.....	194
7 МУФТИ ДЛЯ МОНТАЖУ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ	196
7.1 Загальні положення.....	196
7.2 Класифікація оптичних кабельних муфт	201
7.3 Основні конструктивні елементи муфт	202
7.4 Узагальнена технологія монтажу оптичних кабельних муфт	212
7.5 Рекомендації щодо вибору оптичних кабельних муфт.....	215
Перелік посилань до розділу 7.....	222

8 ПРОКЛАДАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ	224
8.1 Загальні положення.....	224
8.2 Прокладання волоконно-оптичних кабелів в ґрунт	228
8.3 Прокладання волоконно-оптичних кабелів в кабельній каналізації	232
8.4 Прокладання волоконно-оптичних кабелів в ґрунт з використанням ЗПТ	244
8.4.1 Прокладання ВОК методом задування	245
8.4.2 Прокладання ВОК методом сплаву	252
8.5 Підвішування волоконно-оптичних кабелів	256
8.6 Особливості прокладання волоконно-оптичних кабелів на мережах доступу	265
8.6.1 Мінітраншейна технологія.....	266
8.6.2 Мікротраншейна технологія.....	271
8.6.3 Прокладання в стічній каналізації	275
Перелік посилань до розділу 8.....	280
9 ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЙ FTTx НА ОПТИЧНИХ МЕРЕЖАХ ДОСТУПУ	282
9.1 Волокно на мережі доступу	282
9.2 Технологічна реалізація FTTx	283
9.2.1 Архітектура P2P	284
9.2.2 Архітектура P2mP	285
9.2.3 Оптичний бюджет мереж доступу FTTx.....	287
Перелік посилань до розділу 9.....	290
10 ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ	291
10.1 SDH.....	297
10.2 xWDM.....	301
10.3 OTN.....	313
10.4 xPON.....	317
10.5 Ethernet	326
10.6 IP	347
10.7 MPLS	359
Перелік посилань до розділу 10.....	363
11 ЕЛЕМЕНТИ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ	364
11.1 Транспондери.	364
11.2 Мультиплексори/демультиплексори.....	369
11.3 Оптичні передавачі.	377
11.4 Оптичні приймачі.....	379
11.5 Оптичні атенюатори.	380
11.6 Оптичні комутатори.....	380
11.7 Оптичні та хвильові розгалужувачі.	387
11.8 Пристрої компенсації дисперсії.....	389
11.9 Оптичні підсилювачі.....	393
11.10 Хвильові конвертори.	410
Перелік посилань до розділу 11.....	410
ДОДАТОК А Термінологічні варіанти FTTx.....	413

ДОДАТОК Б Рекомендації щодо технічного оснащення бригад, які обслуговують оптичні мережі доступу	416
ДОДАТОК В Документальне оформлення проектування та будівництва	434
ДОДАТОК Г Таблиці та графіки переводів фізичних величин	439
ДОДАТОК Д Деякі методи цифрового кодування	442

ВСТУП

Відбувся півсторічний ювілей ери оптичного зв'язку. Півсторіччя – дата коли можна підбити певні підсумки та визначити шляхи для подальшого розвитку.

А почалось все в 1966 році, коли Чарльз Као та Джордж Хокхем публікують результати своїх досліджень¹, в яких вони викладають особливості волоконно-оптичних телекомунікаційних технологій. В цих дослідженнях були сформульовані основні ідеї щодо використання оптичних волокон для потреб зв'язку, які є основою сучасних телекомунікацій.

Головними теоретичними висновками їх робіт стає визначення граничного значення величини загасання сигналу. Для того, щоб передавати інформацію по волоконно-оптичним каналам без істотних втрат, величина загасання в оптичному волокні (ОВ) не повинна перевищувати 20 дБ/км. Також було визначено, що ідеальним матеріалом для виготовлення ОВ є кварцове скло (SiO_2), в якому спостерігається найменший рівень втрат сигналу.

У світі почались активні дослідження по створенню ОВ з низьким рівнем втрат. Успіх прийшов в 1970-х роках, коли було створено волокно із загасанням 16 дБ/км. Саме цей рік рахується роком початком нової інформаційної ери – ери волоконно-оптичного зв'язку. І вже з 80-х років минулого століття нова технологія отримала широкого застосування.

З тих пір темпи застосування волоконно-оптичних кабелів (ВОК) постійно зростають.

Перші волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) в Україні з'явилися у 1986 році на міських мережах. Це були з'єднувальні міжстанційні лінії. На них встановлювались системи передачі «Соната – 2». Ці системи дозволяли організувати 120 цифрових каналів (ОЦК – основних цифрових каналів – 64 кбіт/с) зі швидкістю 8,448 Мбіт/с по двох оптичних волокнах з градієнтним профілем показника заломлення. Система працювала на довжині хвилі 0,85 мкм, типова довжина регенераційної ділянки близько 10 км.

¹ Kao, K. C.; Hockham, G. A. (1966). "Dielectric-fibre surface waveguides for optical frequencies". *Proc. IEE* 113 (7): 1151–1158.

1 ФІЗИЧНІ ОСНОВИ ПЕРЕДАВАННЯ СИГНАЛІВ ПО ВОЛОКОННИМ СВІТЛОВОДАМ

1.1 Основні поняття геометричної оптики

Електромагнітною хвилею називається змінне в часі електромагнітне поле, що розповсюджується в просторі.

Електромагнітні хвилі залежно від їхнього спектра поділяють на діапазони:

Діапазон	Довжина хвилі
Гамма-випромінення	$< 0,0012 \text{ нм}$
Рентгенівське випромінення	$0,0012 \text{ нм} \div 12 \text{ нм}$
Ультрафіолетове випромінення	$12 \text{ нм} \div 380 \text{ нм}$
Видиме випромінення	$380 \text{ нм} \div 760 \text{ нм}$
Інфрачервоне випромінення	$760 \text{ нм} \div 1 \text{ мм}$
Радіохвилі	$> 1 \text{ мм}$

Для потреб волоконно-оптичного зв'язку використовують невидиму частину оптичного спектру в інфрачервоному діапазоні довжин хвиль від 800 до 1675 нм.

Електромагнітні хвилі розповсюджуються у вакуумі із швидкістю:

$$c_0 = 299792,458 \text{ км/с} \approx 300000 \text{ км/с} = 3 \cdot 10^5 \text{ км/с} = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$

В простішому випадку, розповсюдження електромагнітних хвиль в напрямку повздовжньої вісі Z регулярних світловодів без втрат, залежність амплітуди електромагнітного поля A в часі та просторі, при своєму русі в напрямку Z , можна описати синусоїдальною функцією:

$$A = A_0 \sin(\omega t - kz) = A_0 \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{z}{\lambda} \right), \quad (1.1)$$

де: A – напруженість магнітного або електричного поля;

A_0 – постійна величина, амплітуда магнітного або електричного поля хвилі;

$\omega = 2\pi f$ – кутова частота, с^{-1} ;

f – частота, Гц;

t – час, с;

T – період коливань.

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$ – хвильове число (фазова постійна), м^{-1} ;

z – відстань в напрямку z , м;

λ – довжина хвилі, м;

Вираз $(\omega t - kz)$ називають кутом зсуву фаз (фазовий зсув) або скорочено "фазою хвилі". Фазовий кут φ – це кутова міра, яка виражена у радіанах (рад), причому:

$$1 \text{ рад} = \frac{360^\circ}{2\pi} = 57,295^\circ.$$

Зміна A в залежності від часу t у фіксованій точці $z=z_0$ зображена на рисунку 1.1.

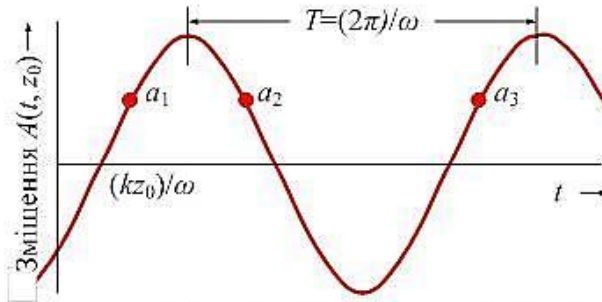


Рисунок 1.1 — Графік залежності $A(t, z_0)$ у фіксованій точці $z=z_0$

Довжина хвилі λ – це просторовий період хвилі, тобто відстань або довжина шляху повного коливання. Між частотою f , довжиною хвилі λ та швидкістю розповсюдження хвилі c існує наступна основна залежність:

$$c_0 = f\lambda. \quad (1.2)$$

Коли промінь падає на границю розділу двох середовищ з різними оптичними характеристиками, певна його частина відбивається. Кількість відбитого променя залежить від кута α_1 між променем, що падає, та нормаллю N до поверхні падіння (кут падіння). Термін “промінь” слід розуміти як шлях, по якому проходить енергія оптичної хвилі. Для відбитого променя та кута α_2 , утвореного нормаллю до поверхні падіння та відбитим променем – кут відбиття (рис.1.2), характерне наступне [1.1]:

- відбитий промінь залишається в площині падіння, яка утворена променем, що падає, та нормаллю до поверхні падіння променя;
- відбитий промінь по відношенню до променя, що падає лежить на протилежній стороні від нормалі до поверхні падіння променя;
- відбитий промінь має кут відбиття по відношенню до нормалі однаковий з кутом падіння:

$$\alpha_1 = \alpha_2.$$

Коли промінь з оптично більш щільного середовища входить під кутом падіння α в оптично менш щільне середовище (рис. 1.2), напрямок його розповсюдження змінюється по відношенню до нормалі, тобто він заломлюється під кутом β . Для ізотропного матеріалу, що має однакові властивості в усіх напрямках, справедливим є закон заломлення Снеліуса [1.1]:

– відношення синуса кута падіння α до синуса кута заломлення β є величиною постійною, ідентичною відношенню швидкості променя у першому середовищі c_1 та швидкості світла у другому середовищі c_2 :

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2} \quad (1.3)$$

З двох прозорих середовищ оптично більш щільним називають те, в якому швидкість променя менша.

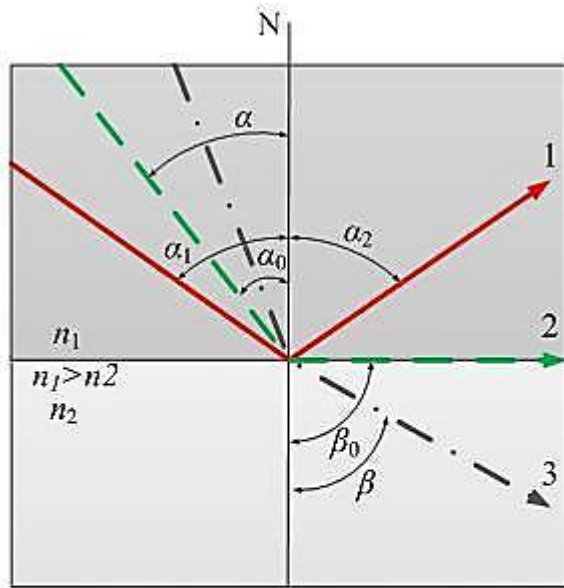


Рисунок 1.2 — Заломлення світла на границі розділу двох середовищ.

- 1 – повністю відбитий промінь світла;
- 2 – заломлений промінь світла з кутом заломлення $\beta_0 = 90^\circ$;
- 3 – заломлений промінь світла.

При переході з вакууму (в ряді випадків, в першому наближенні це може бути повітря), в якому оптична хвиля розповсюджується із швидкістю c_0 в середовище із швидкістю c має силу співвідношення:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_0}{c} = n. \quad (1.4)$$

Відношення швидкості оптичної хвилі c_0 у вакуумі до швидкості оптичної хвилі у середовищі називають *показником заломлення* – n (або *фазовим показником заломлення*) відповідного середовища. Іншими словами, показник заломлення показує, у скільки разів фазова швидкість електромагнітної хвилі в середовищі є меншою від швидкості

розповсюдження оптичної хвилі у вакуумі. Для фазової швидкості електромагнітних хвиль в діелектрику з діелектричною проникністю ϵ та магнітною проникністю μ маємо формулу [1.2]:

$$V_\phi = \frac{1}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_\gamma \cdot \epsilon_0 \cdot \mu_\gamma \cdot \mu_0}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon_\gamma \cdot \mu_\gamma}} = \frac{c}{n}, \quad (1.5)$$

де: $\epsilon_\gamma = \frac{\epsilon}{\epsilon_0}$ – відносна діелектрична проникність середовища;

$\mu_\gamma = \frac{\mu}{\mu_0}$ – відносна магнітна проникність середовища;

ϵ_0 – діелектрична проникність вакууму

$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} = 8,85 \cdot 10^{-12}$, Ф/м;

μ_0 – магнітна проникність вакууму

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} = 1,26 \cdot 10^{-6}$, Гн/м.

$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \cdot \mu_0}}$ – швидкість світла у вакуумі;

$n = \sqrt{\epsilon_r \cdot \mu_r}$ – показник заломлення;

Таким чином, маємо: $n = \frac{c}{V_\phi}$.

Для двох різних середовищ з показниками заломлення n_1 та n_2 і швидкостями оптичних хвиль в них c_1 та c_2 відповідають рівняння:

$$c_1 = \frac{c_0}{n_1} \text{ та } c_2 = \frac{c_0}{n_2}.$$

Отже можна вивести іншу формулу закону заломлення Снеліуса:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (1.6)$$

Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення дорівнює зворотному відношенню відповідних показників заломлення середовищ в котрих розглядається розповсюдження оптичної хвилі.

Величина n відноситься до оптичних хвиль, що розповсюджуються лише на одній довжині хвилі з постійною амплітудою.

Якщо промінь падає на поверхню розділу між оптично щільним середовищем з показником заломлення n_1 та менш оптично щільним середовищем з показником заломлення n_2 під кутом падіння α , який постійно зростає, то при певному куті падіння α_0 кут заломлення стане рівним $\beta=90^\circ$ (рис.1.2), тобто промінь (в даному випадку 2) почне розповсюджуватись паралельно поверхні розділу двох середовищ. Кут падіння α_0 називають критичним кутом двох середовищ. Для критичного кута α_0 справедливе наступне співвідношення:

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1.7)$$

тобто критичний кут залежить від співвідношення показників заломлення n_1 та n_2 середовищ.

Для усіх променів, у яких кут падіння α більше критичного кута α_0 , не існує відповідних заломлених променів в оптично менш щільному середовищі. Ці промені відбиваються від поверхні розділу в оптично більш щільне середовище.

Таке явище називають повним внутрішнім відбиттям (ПВВ). Воно має місце лише тоді, коли промінь розповсюджується з більш оптично щільного середовища в менш оптично щільне.

Цей ефект використовується для передачі світла по волоконних світловодах.

Для передавання інформації, по оптичним волокнам оптичні хвилі — модулюють (на практиці, найчастіше використовується цифрова модуляція). При цьому інформація найчастіше передається у вигляді імпульсів — коротких у часі хвильових пакетів, що містять оптичні хвилі різної довжини. В середині таких хвильових пакетів окремі хвилі розповсюджуються з різними швидкостями через їх різні довжини. Швидкість розповсюдження такого хвильового пакету називають груповою швидкістю. Визначений і відповідний груповий показник заломлення n_g , який співвідноситься до показника заломлення як [1.1]:

$$n_g = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}. \quad (1.8)$$

Вираз $\frac{dn}{d\lambda}$ дає нахил кривої залежності показника заломлення $n(\lambda)$, який у діапазоні довжин хвиль волоконно-оптичного зв'язку є негативним. Тому груповий показник заломлення n_g в діапазоні довжин хвиль волоконно-оптичного зв'язку більше показника заломлення n . Для розрахунків часу передавання оптичних сигналів слід використовувати лише груповий показник заломлення n_g .

Залежність показника заломлення n та групового показника заломлення n_g для середовища з чистого кварцового скла (SiO_2) від довжини хвилі λ показані на рисунку 1.3.

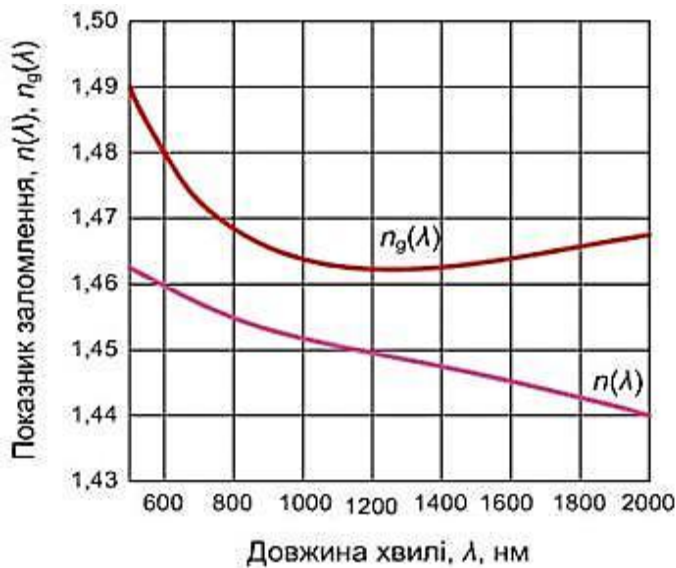


Рисунок 1.3 — Залежність показника заломлення n та групового показника заломлення n_g для чистого кварцового скла від довжини хвилі λ [1.1]

Показник заломлення залежить від довжини хвилі або частоти світлової хвилі, температури та тиску в середовищі (останнє більш суттєве для газів). Наприклад, для води при 20°C для довжини хвилі 404,7 нм $n=1,3428$, а для 678,0 нм $n=1,3308$. Зі збільшенням температури показник заломлення зменшується, але ці зміни показника заломлення є дуже незначними (мільйонні долі на градус).

Добуток показника заломлення на геометричний шлях

світлового променя, в оптичному світловоді, називається оптичною довжиною шляху, а залежність величини показника заломлення за радіальною віссю оптичного світловода називається профілем показника заломлення (ППЗ).

1.2 Розповсюдження оптичної хвилі в оптичних волокнах

В літературі часто виникає колізія внаслідок вживання термінів *оптичний світловод* та *оптичне волокно*.

Оптичний світловод (ОС) – фізичне середовище транспортування оптичного сигналу, що складається із серцевини та оболонки, які мають різні величини показників заломлення, що завдяки явищу повного внутрішнього відбиття надає змогу транспортувати оптичні сигнали (світло), що генеруються обладнанням до якого підключене оптичне волокно.

Оптичне волокно (ОВ) – технічний виріб, що складається з оптичного світловоду і захисних покриттів та маркуючої кольорової оболонки

Повний опис процесу розповсюдження світла по оптичному світловоду (ОС) дає хвильова електромагнітна теорія. Вона показує, що розповсюджуватись по волоконному світловоду можуть лише ті типи хвиль, що формують у поперечному перерізі ВС резонансну хвилю. Такі типи хвиль утворюють моди хвилеводу.

Режим роботи ВС (одно - чи багатомодовий) визначається величиною нормованої частоти V :

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{\lambda} \cdot (n_1^2 - n_2^2)^{0.5} \quad (1.9)$$

де:

λ – довжина хвилі випромінення оптичного джерела;

a – радіус серцевини ВС;

n_1 – максимальне значення показника заломлення в серцевині;

n_2 – показник заломлення в оболонці.

Якщо $0 < V < 2,4048$, у волокні зі сходиноким профілем показника заломлення виконується одномодовий режим.

За багатомодового режиму у волокні розповсюджується сукупність мод (променів, що введені у волокно (з його торцевої поверхні) під різними кутами). Багатомодові оптичні волокна (в яких на одній довжині хвилі розповсюджується багато мод) описані у рекомендації ITU-T G.651. Типовими розмірами (діаметр серцевини/діаметр оболонки) для багатомодових оптичних волокон є 50/125 мкм та 62,5/125 мкм. Як правило, багатомодові оптичні волокна мають градієнтний профіль показника заломлення для зменшення міжмодової дисперсії. Найпоширенішою сферою застосування багатомодових оптичних волокон є локальні оптичні мережі.

На відміну від багатомодових одномодові оптичні волокна (в котрих на різних довжинах хвиль розповсюджується одна мода) мають менший діаметр серцевини ((7÷9)/125 мкм). Внаслідок розповсюдження лише однієї моди за одномодового режиму відсутня міжмодова дисперсія, котра суттєво зменшує

довжину регенераційної ділянки. Характеристики одномодових оптичних волокон більш детально описані у відповідних розділах нижче.

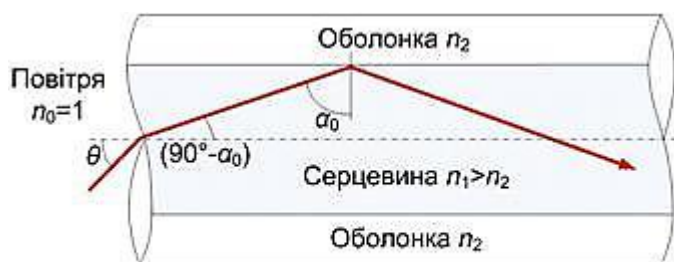


Рисунок 1.4 — Розповсюдження світла в ОВ

Ефект повного внутрішнього відбиття використовується в ОВ, які виготовляють з кварцового скла з показником заломлення серцевини n_1 дещо більшим, ніж показник заломлення оболонки n_2

(рис. 1.4).

Для того, щоб ввести промінь ззовні, в серцевину ОВ, кут уводу між променем та віссю ОВ можна визначити у відповідності з законом заломлення:

$$\frac{\sin \varphi}{\sin(90^\circ - \alpha_0)} = \frac{n_1}{n_2}, \quad (1.10)$$

отже

$$\sin \varphi = n_1 \cos \alpha_0 = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_0}. \quad (1.11)$$

Враховуючи вимоги щодо критичного кута $\sin \alpha_0 = n_2/n_1$, маємо:

$$\sin \varphi = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}. \quad (1.12)$$

Максимально можливий кут введення променів в торець ОВ φ_{\max} називають входною кутовою апертурою ОВ. Вона залежить лише від двох показників заломлення n_1 та n_2 . Сінус входної кутової апертури називають числовою апертурою (NA) ОВ.

Апертура оптичного волокна характеризує ефективність введення оптичного випромінювання у світловод (параметр має важливе значення для багатомодових волокон)

Для волокна із сходиноквим ППЗ визначається за формулою

$$NA = n_0 \cdot \sin \varphi, \quad (1.13)$$

де n_0 – показник заломлення середовища, у якому виконуються виміри (для повітря за умови нормального тиску та температури 0°C показник заломлення $n_0=1,000297$), а φ – кут між віссю ВС та твірною конуса променів, що виходять з торця на виході світловоду.

Апертурні характеристики ВС визначають діапазон кутів φ , за яких світло розповсюджується без втрат на випромінювання в оболонку. Ці кути визначаються умовою повного внутрішнього відбиття на границі серцевина-оболонка як показано на рисунку (1.5)

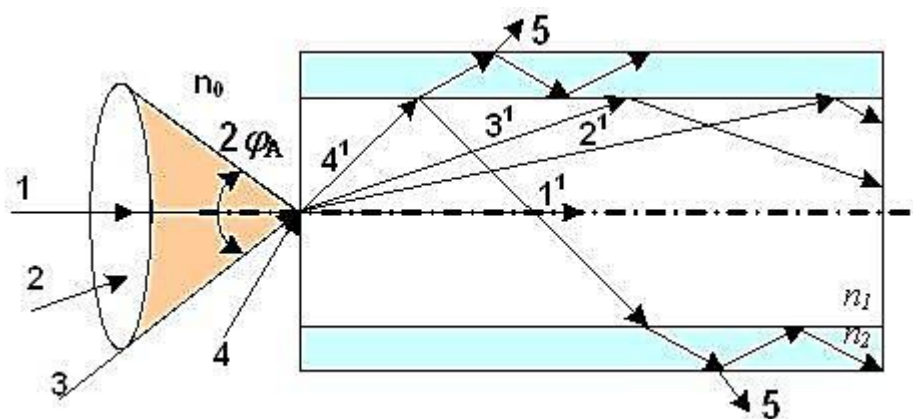


Рисунок. 1.5 Хід променів у ВС за різних кутів падіння

При цьому вісь конуса співпадає з віссю оптичного волокна, а торець оптичного волокна перпендикулярний його осі.

На рисунку:

1, 2 – промені, що падають на торець світловоду під кутом $\varphi < \varphi_A$, відбиваються від границі серцевина – оболонка та розповсюджуються у серцевині волокна як промені 1^1 та 2^1 . Це так звані "напрямувані моди" (на рисунку промінь 1^1 осьовий).

3 – промінь, що падає на торець світловоду під кутом $\varphi = \varphi_A$, відбивається від границі серцевина – оболонка у серцевину волокна та розповсюджується у ній. Промінь 3^1 – це також напрямлена мода².

4 – це промені, що падають на торець світловоду під кутом $\varphi > \varphi_A$, частково відбиваються від границі серцевина – оболонка у серцевину волокна, а здебільшого заломлюються в оболонку, де втрачають свою енергію, не передаючи енергію сигналу, що розповсюджується по ВС. Промені 4^1 – це "витікаючі моди (моди оболонки)". Якщо маємо у якомусь місці згин ВС, то промінь 3^1 після заломлення на границі серцевина – оболонка так само стає частково витікаючою модою.

5 – це промені, що випромінюються з оболонки в оточуюче середовище, тобто "моди випромінювання".

Оскільки, ОВ використовують для передавання електромагнітних хвиль оптичного діапазону, то замість поняття діелектричної проникності ε часто застосовують, пов'язане з нею поняття показника заломлення $n = \sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$, а враховуючи те, що кварцове скло є немагнітним матеріалом ($\mu_r = 1$), то $n = \sqrt{\varepsilon_r}$.

Конструктивно ОВ складається з трьох частин: центральної частини – серцевини з показником заломлення n_1 , відбиваючої оболонки з показником заломлення n_2 ($n_2 < n_1$) та захисного покриття.

² Напрямувана мода – тип поширюваної вдовж ВС монохроматичної хвилі електромагнітного поля (коливань векторів напруженостей електричного та магнітного полів), яка відповідає розв'язку рівнянь Максвелла для ВС.

Показник заломлення серцевини може бути постійним або змінюватись вздовж радіусу перетину ОВ, формуючи відповідний профіль показника заломлення (ППЗ). Для усіх профілів показника заломлення головним є те, що показник заломлення серцевини має бути більшим ніж показник заломлення оболонки. Цього досягають за рахунок легування матеріалу серцевини або оболонки, тобто додаванням певної кількості оксидів в процесі виготовлення преформ з котрих виготовляються ОВ. В залежності від виду оксиду та його кількості можна підвищувати або зменшувати показник заломлення кварцового скла (рис.1.6).

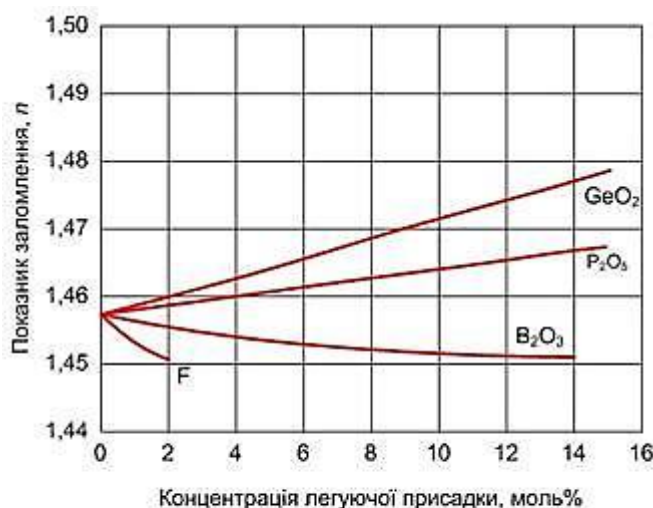


Рисунок 1.6 — Показники заломлення кварцового скла з різними легуючими присадками [1.1]

зменшується в серцевині, як функція відстані від осі, називають градієнтним. Більш докладно класифікацію профілів показників заломлення ОВ для телекомунікацій наведено в [1.3].

1.3 Основні рівняння поширення хвиль

Більш точна модель поширення оптичної хвилі по ОВ (порівняно з променевою моделлю) базується на хвильовій теорії електромагнітного поля. З точки зору хвильової теорії, процес передавання оптичних сигналів через оптичне волокно являє собою різновид розповсюдження електромагнітних хвиль. Математичні розв'язки отримують з рівнянь Максвелла:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}, \quad (1.14)$$

$$\nabla \times \vec{H} = j + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad (1.15)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho, \quad (1.16)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0, \quad (1.17)$$

Де: \vec{D} вектор електричної індукції $\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$; \vec{B} вектор магнітної індукції, $\vec{B} = \mu \mu_0 \vec{E}$.

Розв'язками цих рівнянь у випадку напрямлених хвиль ступінчастого хвилеводу є циліндричні функції [1.3]. При цьому повздовжні складові для векторів напруженостей електричних та магнітних полів в серцевині ($r < a$) описуються формулами:

$$E_z = A_n J_n(g_1 r) e^{jn\phi} e^{-j\beta z + j\omega t}, \quad (1.18)$$

$$H_z = B_n J_n(g_1 r) e^{jn\phi} e^{-j\beta z + j\omega t}, \quad (1.19)$$

де:

r, z, ϕ – координати точки в циліндричній системі координат, початок якої розташовано на осі світловоду;

$g_1^2 = k_1^2 - \beta^2$ – поперечне хвильове число в серцевині;

$k_1 = \omega \sqrt{\mu_{a1} \varepsilon_{a1}} = \omega \sqrt{\mu_0 \varepsilon_0} \sqrt{\mu_1 \varepsilon_1} = kn_1 = \frac{2\pi n_1}{\lambda}$ – хвильове число в матеріалі серцевини;

k – відповідно у вільному просторі;

β – повздовжня постійна розповсюдження у волокні;

A_n, B_n – постійні інтегрування;

J_n – функції Бесселя 1-го роду;

$n=0, 1, 2, \dots$

Повздовжні складові електричного та магнітного полів в оболонці ($r > a$) мають вигляд:

$$E_z = C_n K_n(g_2 r) e^{jn\phi} e^{-j\beta z + j\omega t}, \quad (1.20)$$

$$H_z = D_n K_n(g_2 r) e^{jn\phi} e^{-j\beta z + j\omega t}, \quad (1.21)$$

де:

$g_2^2 = \beta^2 - k_2^2$ – поперечне хвильове число в оболонці;

$k_2 = \omega \sqrt{\mu_{a2} \varepsilon_{a2}} = \frac{2\pi n_2}{\lambda}$ – хвильове число в матеріалі оболонки;

C_n, D_n – постійні інтегрування;

K_n – функція Макдональда (Кельвіна), яку можна виразити через модифіковану функцію Ганкеля 1-го роду [1.3].

Визначивши за відомими співвідношеннями [1.4] поперечні складові E_r, E_ϕ, H_r, H_ϕ та задовольнивши умовам рівності тангенціальних складових на границі розділу серцевина–оболонка ($r=a$), отримаємо наступні характеристичні рівняння, які пов'язують повздовжню постійну поширення напрямних мод ОВ із циклічною частотою, тобто дають дисперсійну залежність $\beta(\omega)$:

– для симетричних хвиль (азимутальне число $n=0$):

$$\frac{1}{g_1 a} \frac{J_1(g_1 a)}{J_0(g_1 a)} = -\frac{1}{g_2 a} \frac{K_1(g_2 a)}{K_0(g_2 a)} \text{ (для хвиль } H_{om}), \quad (1.22)$$

$$\frac{n_1^2}{g_1 a} \frac{J_1(g_1 a)}{J_0(g_1 a)} = -\frac{n_2^2}{g_2 a} \frac{K_1(g_2 a)}{K_0(g_2 a)} \text{ (для хвиль } E_{om}); \quad (1.23)$$

– для несиметричних гібридних хвиль (наближення малоспрямованості):

$$\frac{1}{g_1 a} \frac{J_{n-1}(g_1 a)}{J_n(g_1 a)} = \frac{1}{g_2 a} \frac{K_{n-1}(g_2 a)}{K_n(g_2 a)} \text{ (для хвиль } HE_{nm}), \quad (1.24)$$

$$\frac{1}{g_1 a} \frac{J_{n+1}(g_1 a)}{J_n(g_1 a)} = -\frac{1}{g_2 a} \frac{K_{n+1}(g_2 a)}{K_n(g_2 a)} \text{ (для хвиль } EH_{nm}). \quad (1.25)$$

Для одномодових волокон, які працюють на гібридній хвилі EH_{11} , характеристичне рівняння, згідно (1.23) при $n=1$ має вигляд

$$g_1 \frac{J_1(g_1 a)}{J_0(g_1 a)} = g_2 \frac{K_1(g_2 a)}{K_0(g_2 a)}. \quad (1.26)$$

Дані характеристичні рівняння дозволяють також визначити структуру поля в поперечному перерізі ОВ.

1.4 Типи та конструкції оптичних волокон

За кількістю мод, що розповсюджуються по ОВ, розрізняють одно- та багатомодові ОВ. Основні типи ОВ подано на рисунку 1.7.

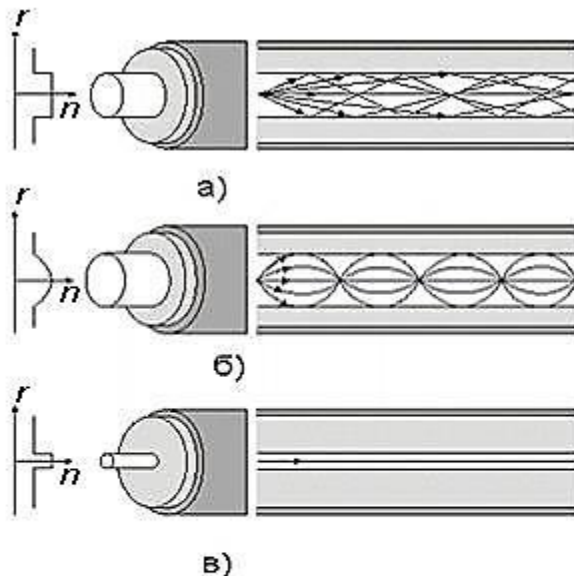


Рисунок 1.7 – Основні типи ОВ: багатомодове ступінчасте (а), багатомодове градієнтне (б) та одномодове (в) [1.5]

Як зазначалось вище, конструктивно ОВ складається з трьох частин:

– *серцевини* – центральної частини ОВ, максимальне значення показника заломлення в якій більше від показника заломлення в оболонці ОВ. Визначає разом з оболонкою структуру поля розповсюджуваного оптичного випромінювання;

– *оболонки* – частини волокна, що, як правило, має постійне значення показника заломлення по поперечному перерізу і визначає разом з серцевиною структуру поля розповсюджуваного оптичного випромінювання;

– *захисного покриття* – покриття, що наноситься на оболонку ОВ з метою його захисту від зовнішнього впливу. Зовнішнє покриття може мати декілька шарів, необхідну адгезію до матеріалу оболонки ОВ і виготовляється з пластикатів.

За кількістю розповсюджуваних мод розрізняють:

- одномодові ОВ – оптичні волокна, по яким в робочому діапазоні частот розповсюджується лише основна мода;
- багатомодові ОВ – оптичні волокна, по яким в робочому діапазоні частот розповсюджується більше однієї моди.

1.5 Енергетичні та часові характеристики ОВ

Введення легуючих оксидів у чисте кварцове скло призводить не лише до зміни показника заломлення. Легування також призводить до зміни коефіцієнта лінійного температурного розширення кварцу, зростання розсіювання та поглинання оптичної хвилі, а значить й до зростання загасання розповсюджуваної оптичної хвилі.

1.5.1 Загасання світла в оптичних волокнах

Загасання сигналу A в ОВ обумовлене втратами потужності і визначається:

$$A = A_{\text{вл}} + A_{\text{дод}}, \quad (1.27)$$

де $A_{\text{вл}}$ – втрати, обумовлені власними (внутрішніми) втратами потужності в ОВ, $A_{\text{дод}}$ – втрати, обумовлені додатковими (зовнішніми) втратами потужності в ОВ.

Головними причинами власних втрат потужності $A_{\text{вл}}$ в ОВ є поглинання та розсіювання енергії електромагнітних хвиль оптичного діапазону, котрі розповсюджуються в ОВ.

Розсіювання енергії викликане кількома причинами. Розрізняють *лінійне* та *нелінійне* розсіювання [1.7]. При лінійному розсіюванні потужність розсіювання пропорційна потужності падаючої хвилі. В цьому випадку відбувається часткова зміна напрямку потоку енергії.

Коли розмір неоднорідності значно менший за довжину поширюваної хвилі ($r \ll \lambda$), розсіювання називається Релеєвським і його потужність зменшується із зростанням довжини хвилі пропорційно $1/\lambda^4$. В природі явищем Релеєвського розсіювання пояснюється наприклад, блакитний колір неба, білий колір хмаринок і червоний колір Сонця при його сході та при заході.

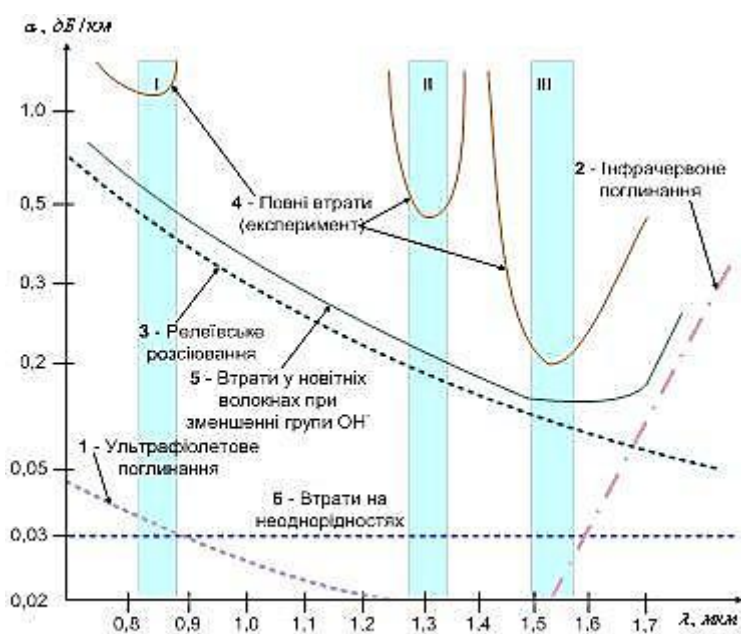
При $r \sim \lambda$ має місце розсіювання Мі. В природі цим пояснюється, наприклад, зміна кольору неба від блакитного в zenіті до темного на обрії. Мала або повна непрозорість туману є наслідком сильного розсіювання Мі. Ослаблення світла Сонця на сході та заході також значною мірою зумовлено розсіюванням Мі.

В оптичних волокнах високої якості відсутні неоднорідності розмірів, що можуть бути порівнянні з довжиною хвилі. За своєю природою скло є неупорядкованою структурою, однак мікроскопічні відхилення від середньої

щільності матеріалу, а також локальні мікроскопічні зміни у його складі, за своїми розмірами менші за довжину хвилі.

Окрім лінійних Релеєвського та Мі розсіювань у оптичному волокні можуть виникати розсіювання, що обумовлені нелінійними ефектами. До нелінійних ефектів розсіювання відносяться раманівське³ спонтанне та стимульоване комбінаційне випромінювання Мандельштама-Бріллюена. Ці ефекти виникають за певних рівнях потужності.

Лінії поглинання кварцу лежать в ультрафіолетовій частині спектра (переходи між енергетичними рівнями електронів у атомах) та в інфрачервоній (переходи між коливальними рівнями атомів у решітці). Вони розташовані далеко від області спектра, що нас цікавить (800 ÷ 1600 нм). Релеєвське розсіювання на мікро-флуктуаціях щільності матеріалу кварцового світловоду та інфрачервоне поглинання визначають мінімально досяжні фундаментальні втрати в матеріалі світловоду. На рисунку (1.8) показана спектральна характеристика коефіцієнта загасання в кварцовому світловоді з низьким рівнем втрат.



Рисунку 1.8 — Втрати в ОВ

домішок⁴ іонів перехідної групи металів Fe^{2+} , Cu^{2+} , Cr^{3+} та іонів гідроксильної групи OH^- .

Області: I – (820÷860 нм); II – (1280÷1330 нм); III – (1520÷1580 нм) – вікна прозорості.

Крива 1 – ультрафіолетове поглинання в матеріалі, крива 2 – інфрачервоне поглинання, 3 – Релеєвське розсіювання.

Втрати на поглинання складаються з власного поглинання енергії хвиль в матеріалі скла та поглинання через наявність в склі

³ Названого на честь Чандрасекара Венката Рамана (1888 ÷ 1970) індійського фізика, автора відкриття непружного розсіювання світла зі збудженням атомних коливань.

⁴ Домішки можуть бути як небажаними, так і спеціально введеними до складу скла. Це необхідно для створення матеріалів з різним значенням показника заломлення – більшим для матеріалу серцевини (цьому слугують оксиди германію чи фосфору) та меншим для матеріалу оболонки волоконного світловоду, що досягається введенням до складу скла фтору чи оксиду бору (домішки бору не застосовують, якщо волоконний світловод буде працювати на довжинах хвиль окіл 1,55 мкм).

Найбільш небажаними є домішки води і перехідних металів першої групи (ванадію, хрому, магнію, залізі, кобальту та нікелю). Довжини хвиль, на яких поглинають домішки металів, залежить від міри окислення іону металу. Для того, щоб приріст поглинання не перевищував 1 дБ/км, концентрація домішок повинна бути нижчого від 10^{-9} .

Власне поглинання, що викликане наявністю парів води, обумовлено основним періодом коливань міжатомних зв'язків O—H [1.6]. Фундаментальна частота коливань f_0 відповідає довжині хвилі 2730 нм, однак викликає появу гармонік на довжинах хвиль 720, 880, 950, 1130, 1240 та 1390 нм [1.2].

Вони разом з прозорою частиною спектра зумовлюють утворення так званих “вікон прозорості” з мінімальним поглинанням на хвилях довжиною 850, 1300 та 1550 нм. Їхня ширина залежить від складу скла серцевини оптичного волокна. На робочих довжинах хвиль $800 \div 900$ нм концентрацію водяних парів достатньо знизити до 10^{-7} . Однак, при $\lambda=1200 \div 1600$ нм концентрація групи OH^- повинна бути не вищою від 10^{-8} . Досягнути цього надзвичайно важко. Однак, сучасні технології виготовлення оптичних волокон вирішують цю проблема (крива (5) на рисунку 1.8), що дає можливість відкрити нові робочі діапазони на довжинах хвиль в діапазоні $1350 \div 1450$ нм. У порівнянні зі звичайними одномодовими волокнами зменшення втрат в межах цього вікна прозорості робить можливим створення ліній передач з більшою довжиною регенераційної ділянки і здійснювати передачу на високій швидкості (10 Гбіт/с) приблизно на вдвічі більшу відстань.

Втрати у волокні збільшуються також через низку причин (крива 6 на рис. 1.8), що зумовлені недостатньо досконалою технологією виготовлення світловодів і кабелів: забрудненням волокон у процесі їхнього витягування, коливанням розмірів поперечного перерізу вздовж світловоду, нерівністю границі серцевина-оболонка, а також згладжуванням цієї границі під час витягування волокна через дифузію домішок, які вводяться для зміни показника заломлення, виникненням мікро- та макровигинів при виготовленні кабелю.

Експериментальна крива (4) на рисунку (1.8) має три локальних мінімуми – вікна прозорості на довжинах хвиль 850; 1300 та 1550 нм.

Додаткові втрати потужності $A_{\text{дод}}$ в ОВ виникають за рахунок розсіювання через різноманітні порушення геометрії ОВ в процесі виробництва. Втрати в ОВ через порушення його геометрії обумовлюються нерегулярностями границі розділу серцевини та оболонки, варіаціями розмірів поперечного перетину, мікрОВигинами, що пов'язані з нанесенням захисного покриття та виготовленням ОК. Ще одною причиною додаткових втрат є втрати на з'єднаннях ОВ (стикові втрати). Величина втрат на з'єднаннях залежить від типу з'єднання (зварюванням, механічні з'єднувачі), відхилю від норми

параметрів ОВ (некруглість оболонки, неконцентричність оболонки та серцевини, різниця діаметрів модових полів або числових апертур, тощо). Сучасні технології з'єднань ОВ дозволять отримувати з'єднання з втратами на рівні, що не перевищує 0,1...0,2 дБ.

Ще одною причиною можливої появи додаткових втрат в процесі експлуатації є поступове погіршення передаточних характеристик ОВ через механічну втому та утворення мікротріщин внаслідок впливу вологи.

Основний вплив вологи виявляється у прискоренні можливої руйнації ОВ та зростанні загасання через зростання розсіювання внаслідок виникнення та розвитку неоднорідностей структури поверхні зовнішньої оптичної оболонки. Можна сказати, що майже для усіх існуючих типів ОВ проникнення вологи може знизити їх міцність (через розвиток мікротріщин) на 15...30 %. У відносно сухому повітрі в неполярному середовищі та після розміщення ОВ в гідрофобному матеріалі вказані явища не спостерігаються. Слід зазначити також, що волога зменшує опір згинанню ОВ.

До розглянутого впливу вологи додається також вплив рідких агресивних середовищ (наприклад, морська вода, рідини, що характеризуються підвищеною кислотністю або лужністю).

Стандартне ОВ дуже чутливе до радіаційного випромінювання. Так, загасання у багатомодовому ОВ при типовій дозі 10^4 Рад, зростає на довжині хвилі 1300 нм на 70 дБ/км, що може призвести до виходу з ладу лінії зв'язку.

Для визначення втрат оптичної потужності в конкретному оптичному волокні необхідно знати потужність (або рівень потужності) на виході волокна, що досліджується, та потужність (або рівень потужності), яка подається у волокно, що досліджується. Загасання у кабелі, що вимірюється, визначають за формулою:

$$A(\lambda) = 10 \lg \frac{P_1(\lambda)}{P_2(\lambda)} \quad (1.28)$$

де:

$A(\lambda)$ – загасання в оптичному кабелі, дБ.

P_1 та P_2 – відповідно потужності на вході та виході оптичного волокна, що вимірюється, Вт.

λ – довжина хвилі, на якій проведені вимірювання, мкм.

Потужність сигналу часто характеризують по відношенню до 1 мВт, це значення називають рівнем потужності, (рівень потужності визначається в дБм, де літера “м” вказує на величину потужності з якою порівнюють, в даному випадку міліват, інколи рівень потужності є відношенням до 1 нВт і визначається в дБн). Рівень потужності визначається за формулою:

$$p_1 = 10 \lg \frac{P_1}{1 \text{ мВт}}, \text{ дБм} \quad (1.29)$$

де: P_1 потужність, що вимірюється у мВт.

Загасання у волокні, що вимірюється, визначають за формулою:

$$A = p_1 - p_2, \text{ дБ} \quad (1.30)$$

На практиці рівень втрат в ОВ характеризують, як розподіл втрат по довжині ОВ і називають коефіцієнтом загасання α в дБ/км. Коефіцієнт загасання у волокні (довжиною L), що вимірюється, визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{A}{L}, \quad (1.31)$$

де:

A – втрати енергії в ОВ в дБ,

L – довжина ОВ в км.

Розповсюдженню світла в середовищі притаманні такі явища як інтерференція, дифракція, дисперсія, поляризація.

Інтерференція – це зміна середньої щільності потоку енергії, зумовлена суперпозицією (накладанням) електромагнітних хвиль.

Інтерференція хвиль виникає лише тоді, коли хвилі, що взаємодіють, мають однакову частоту і незалежний від часу зсув фаз в кожній точці. Джерела, що випромінюють такі хвилі, називаються когерентними.

Дифракція – це відхилення світлових променів від прямолінійного шляху при проходженні поблизу границі перепон, внаслідок чого хвиля огинає зустрічну перепону (при стуленні вій можна бачити появу різнокольорових смуг, що виникають внаслідок дифракції, вії в даному випадку стають аналогом дифракційної ґратки).

Дисперсія – це залежність показника заломлення від довжини хвилі (частоти). Внаслідок дисперсії хвилі з різною частотою проходять різний оптичний шлях (наприклад кутова дисперсія сонячного світла на краплях води після дощу спричиняє райдугу). Дисперсія має розмірність часу та визначається як середньоквадратична різниця тривалості імпульсу на виході та на вході волокна $\tau(l) = \sqrt{t_{\text{вих.}}^2 - t_{\text{вх.}}^2}$ де $\tau(l)$ – величина дисперсії волокна довжиною l , а $t_{\text{вих.}}$ та $t_{\text{вх.}}$ відповідно тривалості імпульсу на виході та вході волокна, що досліджувалось.

Поляризація – це характеристика рівномірності розподілу за напрямком коливань векторів напруженості електричного та магнітного поля електромагнітної хвилі в площині, перпендикулярній до напрямку розповсюдження електромагнітної хвилі.

Світлова хвиля, в котрій напрямок вектора напруженості електричного поля змінюється випадковим чином, називається неполяризованим світлом, наприклад сонячне (природне) світло

Хвилі, для котрих вектор напруженості електричного поля буде здійснювати коливання в одній площині на всьому шляху розповсюдження хвилі називають лінійно поляризованими. Площина, в котрій знаходиться вектор напруженості електричного поля в лінійно поляризованій хвилі, називається площиною поляризації.

Пристрої, що здійснюють перетворення природного світла в поляризоване світло, називають поляризаторами.

1.5.2 Дисперсія сигналів в оптичних волокнах

Передавання сигналів по ОВ здійснюється за допомогою імпульсів оптичної енергії, які в процесі розповсюдження розширюються. При достатньо великому розширенні імпульси будуть перекриватись і їх неможливо буде розрізнити на вихідному кінці ОВ.

Дисперсія (уширення імпульсів) взагалі визначається трьома основними факторами: різницею швидкостей розповсюдження напрямних мод, напрямними властивостями світловодної структури та властивостями матеріалу ОВ, [1.5] а також кінцевою шириною смуги спектралізатора випромінювання.

Міжмодова дисперсія спричинена різницею швидкостей розповсюдження напрямних мод на фіксованій довжині хвилі оптичного випромінювання, яка призводить до того, що час проходження цих мод по ОВ буде різним. В результаті утворені ними імпульси уширюються, причому величина уширення дорівнює різниці часу розповсюдження самої повільної та самої швидкої мод. Це явище має назву міжмодової дисперсії. З точки зору геометричної оптики міжмодова дисперсія пояснюється тим, що час проходження різний для різних траєкторій променів. Час розповсюдження променя в залежності від кута Θ_z визначається виразом:

$$t(\Theta_z) = \frac{Ln_1}{c \cdot \cos \Theta_z}, \quad (1.32)$$

де L – довжина ОВ.

Як видно з (1.32), час розповсюдження проміння змінюється зворотно пропорційно $\cos \Theta_z$. Таким чином, мінімальний час розповсюдження t_{\min} відповідає $\Theta_z=0$, тобто промінням, що розповсюджуються паралельно осі ОВ, а максимальний час розповсюдження t_{\max} відповідає $\Theta_z=\Theta_{\text{кр}}$, де $\Theta_{\text{кр}}$ — критичний кут. Отже

$$t_{\min} = \frac{Ln_1}{c}; t_{\max} = \frac{Ln_1}{c \cdot \cos \Theta_z} = \frac{Ln_1^2}{cn_2}. \quad (1.33)$$

Таким чином, міжмодова дисперсія - $\tau_{\text{мм}}$ є різницею максимального та мінімального часу розповсюдження і визначається співвідношенням:

$$\tau_{\text{мм}} = t_{\text{max}} - t_{\text{min}} = \frac{L}{c} n_1 \frac{(n_1 - n_2)}{n_2}, \text{ с.} \quad (1.34)$$

Для ОВ, у яких $n_1 \approx n_2$, це співвідношення набуває вигляду

$$\tau_{\text{мм}} = \frac{n_1 \Delta}{c} L. \quad (1.35)$$

З наведених співвідношень видно, що уширення імпульсів за рахунок міжмодової дисперсії пропорційне довжині ОВ. Однак, це справедливо лише для ідеального ОВ, в якому відсутня взаємодія між напрямними модами. На практиці, наявність неоднорідностей призводить до постійних обмінів енергією між модами, тобто до взаємодії мод. Тому уширення імпульсів носить ймовірнісний (статистичний) характер і пропорційне \sqrt{L} , а не L , як в ідеальному випадку. Це явище починає проявлятися не зразу, а після певної відстані L_B , яка має назву відстань встановленого зв'язку між модами. Відстань встановленого зв'язку між модами приймається рівною 2...5 км. Таким чином, значення міжмодової дисперсії розраховується за формулами:

$$\tau_{\text{мм}} = \frac{n_1 \Delta}{c} L, \quad L < L_B; \quad (1.36)$$

$$\tau_{\text{мм}} = \frac{n_1 \Delta}{c} \sqrt{L L_B}, \quad L \geq L_B. \quad (1.37)$$

Всі ці співвідношення вірні для ОВ зі ступінчастим профілем показника заломлення. На відміну від ОВ зі ступінчастим профілем показника заломлення, в ОВ з градієнтним профілем показника заломлення, промені при розповсюдженні плавно вигинаються в напрямку градієнту показника заломлення. Оскільки швидкість розповсюдження оптичної хвилі вздовж плавної траєкторії дорівнює $c/n(r)$, де $n(r)$ – профіль показника заломлення в серцевині, то чим менше показник заломлення, тим більша швидкість розповсюдження оптичної хвилі в ОВ. В результаті виходить, що осьові промені проходять менший геометричний шлях, але вони розповсюджуються в середовищі з більшим показником заломлення, тобто з меншою швидкістю. Тому час розповсюдження променів по ОВ урівнюється і міжмодова дисперсія зменшується.

Уширення імпульсів в градієнтних ОВ визначається законом зміни показника заломлення в поперечному перетині серцевини, тобто показника ступені q математичної функції котра описує залежність $n(r)$. [1.8]

$$n(r) = \sqrt{n_1 [1 - 2\Delta(r/R)^q]}, \quad (1.38)$$

де r – поточний радіус; R – радіус серцевини; n_1 – показник заломлення в центрі серцевини; $q = \{1, \infty\}$ – показник ступені, що визначає зміну; $\Delta = 0,003$ — $0,01$.

Отже, при $q = \infty$ профіль показника заломлення визначається як

$$n(r) = \begin{cases} n_1 & \text{при } r \leq R; \\ n_2 & \text{при } r \geq R, \end{cases} \quad (1.39)$$

що відповідає ступінчастому волокну, а при $q=2$ — волокну з параболічним профілем показник заломлення, для якого

$$n(r) = \sqrt{n_1[1 - 2\Delta(r/R)^2]}. \quad (1.40)$$

При параболічному профілі показника заломлення ($q=2$) формула для розрахунку міжмодової дисперсії ($\tau_{\text{мм}}$) має вигляд:

$$\tau_{\text{мм}} = \frac{L}{c} \frac{\Delta^2}{2} n_1. \quad (1.41)$$

Мінімальне значення міжмодової дисперсії в градієнтному ОВ, дорівнює

$$\tau_{\text{мм}} = \frac{L}{c} \frac{\Delta^2}{8} n_1, \quad (1.42)$$

і досягається при $q_{\text{opt}} = 2(1-2\Delta)^{1/2} \approx 2-2\Delta$.

З приведених співвідношень видно, що в градієнтних ОВ з параболічним профілем показника заломлення міжмодова дисперсія в $2/\Delta$ менше, ніж в ОВ зі ступінчастим профілем показника заломлення.

Різниця швидкостей розповсюдження на кожній довжині хвилі з спектру передаваного сигналу випромінювання джерела призводить до різного часу затримки частотних складових сигналу, тобто до *хроматичної* (частотної) дисперсії. *Хроматична* дисперсія ($\tau_{\text{хр}}$) складається з *внутрішньомодової* (хвильоводної) дисперсії, *дисперсії матеріалу* ОВ та *профільної дисперсії*.

Хроматична дисперсія – виникає внаслідок кінцевої ширини спектральної лінії джерела випромінювання, що призводить до різних групових швидкостей розповсюдження спектральних складових імпульсу, і як наслідок до викривлення форми імпульсу. Хроматична дисперсія впливає на граничну величину максимальної швидкості передавання, оскільки при більший швидкості між імпульсами корисного сигналу стає меншим інтервал і збільшується ймовірність появи помилок в прийомі сигналу внаслідок хроматичної дисперсії.

Внутрішньомодова дисперсія обумовлена направляючими властивостями світловодної структури, а саме, нелінійною залежністю коефіцієнту фази β даної моди ОВ від довжини хвилі (частоти) оптичного випромінювання. Зміна фазових швидкостей різних частотних компонент сигналу що передається з використанням конкретної моди призводить до різної часової затримки частотних складових цих окремих мод, тобто уширення імпульсів, утворених при передачі з використанням навіть однієї конкретної моди.

Уширення імпульсів, обумовлене внутрішньомодовою дисперсією ($\tau_{\text{в}}$), пропорційне ширині спектру джерела випромінювання $\Delta\lambda$ і описується формулою:

$$\tau_{\text{в}} = \Delta\lambda LM(\lambda) \quad (1.43)$$

де $M(\lambda)$ – питома матеріальна дисперсія;

$\Delta\lambda$ – визначає хроматичну дисперсію джерела в цілому.

Реальні ОВ складаються з матеріалів, дисперсія яких зумовлена залежністю показника заломлення від довжини хвилі λ , тобто $n = n(\lambda)$. Джерело випромінювання з центральною довжиною хвилі λ є немонохроматичним, в дійсності має кінцеву ширину спектральної лінії $\Delta\lambda$. Як результат, спектральні компоненти сигналів, що збуджуються на різних довжинах хвиль в межах спектру джерела випромінювання, будуть розповсюджуватись з різними швидкостями в одному й тому ж матеріалі. Різні часові затримки частотних складових сигналу, що утворюються при цьому, визначають дисперсію матеріалу. Уширення імпульсу, зумовлене *дисперсією матеріалу* ($\tau_{\text{мат}}$), визначається як:

$$\tau_{\text{мат}} = \Delta\lambda M(\lambda) = \frac{L\lambda}{c} \left| \frac{d^2 n_1(\lambda)}{d\lambda^2} \right| \Delta\lambda. \quad (1.44)$$

Повна величина уширення імпульсів на ділянці ОВ довжиною L складає:

$$\tau = \sqrt{\tau_{\text{мм}}^2 + \tau_{\text{хр}}^2} = \sqrt{\tau_{\text{мм}}^2 + (\tau_{\text{в}} + \tau_{\text{мат}})^2}, \quad (1.45)$$

де $\tau_{\text{мм}}$ та $\tau_{\text{хр}} = \tau_{\text{в}} + \tau_{\text{мат}}$ – уширення в результаті міжмодової та хроматичної дисперсії відповідно.

При використанні ОВ в оптичному кабелі, оптичне волокно піддається впливу як механічних, так й кліматичних навантажень. В наслідок цих впливів ОВ стає еліптичним (овальним). Напруження, що виникають в процесі виробництва ОВ та ВОК, призводить до залишкових напружень в серцевині та оболонці ОВ, що викликає явища подвійного променезаломлення, які складно передбачити.

Крім того, механічні навантаження на ОВ в скрученому ВОК створюють несиметричні напруження, що зростають при намотуванні кабелю на барабан та дії різноманітних зовнішніх навантажень. Усі ці механічні впливи призводять до локальних, випадково розподілених деформацій ОВ, що порушують його геометрію або соосність серцевини та оболонки.

Поляризаційна дисперсія моди (ПДМ) – це час диференціальної групової затримки між двома ортогонально поляризованими модами, що викликає розширення імпульсу в цифрових системах та спотворення в аналогових системах [1.9]. Отже *поляризаційна дисперсія моди* виникає внаслідок різної швидкості розповсюдження по волокну різних поляризаційних складових напрямлюваної моди, що призводить до зміни форми імпульсу, збільшення його тривалості в часі.

Поляризаційна дисперсія моди – це основний механізм, за допомогою якого всі дефекти ОВ відбиваються на характеристиках системи передавання.

У будь якій точці ОВ імпульс поляризованого оптичного випромінювання можна розкласти на поляризовані складові з двома ортогональними площинами поляризації, направленими вздовж двох локально ортогональних осей ОВ, так званих, швидкої та повільної осей. На практиці, в укладеному в кабель ОВ напрямок цих осей та відносна різниця швидкостей розповсюдження по кожній осі (що безпосередньо залежить від величини локального двохвильового заломлення) змінюються вздовж оптичного шляху.

Для ідеалізованої моделі явище поляризаційної дисперсії моди можна подати так: різні ділянки ОВ мають постійні, але різні на кожній ділянці напрямки осей двохвильового заломлення (локальні зміни орієнтації головних осей двохвильового заломлення ОВ відомі як явище зв'язку мод). На кожній ділянці ОВ виникає часова затримка між складовими оптичного сигналу, розкладеними по швидкій та повільній осях. Через те, що напрямок осей двохвильового заломлення сусідніх ділянок ОВ змінюється випадковим чином, форма й границі оптичного імпульсу піддаються часовому розсіюванню.

Ступінь модового двохвильового заломлення B визначається:

$$B = \frac{|\beta_x - \beta_y|}{K_0} = (n_x - n_y), \quad (1.46)$$

де: β_x та β_y – постійні розповсюдження в напрямках X та Y ; n_x та n_y – ефективні показники заломлення мод по двох ортогональних площинах поляризації. Періодичний обмін потужностями між двома модами відбувається при відповідному періоді L_B та певному B :

$$L_B = \frac{2\pi}{|\beta_x - \beta_y|} = \frac{\lambda}{B}, \quad (1.47)$$

де: L_B – називається довжиною биття. Вісь вздовж кожного ефективного ПЗ моди менша. Її називають швидкою віссю, тому, що для світла поляризованого в цьому напрямку, групова швидкість більша. З тієї ж причини ось з більшим модовим ПЗ називають повільною віссю.

Оскільки, окремі фактори, що викликають поляризаційну дисперсію моди, неможливо виділити та змінити, то явище поляризаційної дисперсії моди слід розглядати як безперервний і нестационарний стохастичний процес. Цей процес призводить до уширення інформаційних оптичних імпульсів, що викликає зростання помилок при декодуванні імпульсів.

Таким чином поляризаційна дисперсія моди є суттєвим фактором, що обмежує швидкість передавання по ОВ. Загальна поляризаційна дисперсія моди (PMD) лінії зв'язку визначається формулою:

$$PMD_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{n=1}^n PMD_n^2}. \quad (1.48)$$

Вплив поляризаційної дисперсії моди на якість сигналу в лінії зв'язку зростає при:

- а) зростанні швидкості передачі;
- б) зростанні кількості ділянок лінії (рівносильне зростанню довжини оптичного каналу);
- в) зростанні кількості каналів (при великому числі каналів зростає вірогідність великого відхилення диференціальної групової затримки від середнього значення одного каналу).

Критерії оцінки питомого коефіцієнту поляризаційної дисперсії моди, що забезпечують необхідний рівень помилок по бітам приймача згідно рекомендацій ITU [1.10], подано у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 — Максимальне значення поляризаційної дисперсії моди для заданої швидкості передавання [1.10]

Швидкість передавання, Гбіт/с	Максимальна затримка, PMD , пс	Коефіцієнт поляризаційної модової дисперсії для ОВ довжиною 400 км, $ps/km^{1/2}$
2,5	40	2
10	10	0,5
20	5	0,25
40	2,5	0,125

1.6 Механічні характеристики оптичних волокон

На відміну від металу, який внаслідок дії на нього розтягувального зусилля може спочатку значно видовжитись і лише після цього розірватись, скло фактично руйнується зразу після досягнення розривного зусилля. Незначне видовження і різкий розрив називають крихкістю. Поведінку металу та скла при дії на них розтягувального зусилля зображено на графіку залежності видовження цих матеріалів від прикладеного зусилля (рисунок 1.9).

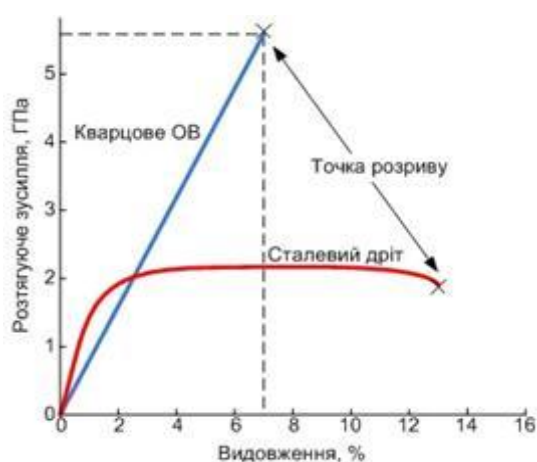


Рисунок 1.9 — Деформація залежно від ступеню розтягу для сталевий дріт та ОВ (модуль Юнга для скла 72900 Н/мм^2 , для сталі 150000 Н/мм^2) [1.11]

З графіка видно, що сталевий дріт пружно видовжується до 1%, після чого починає “текти” постійно деформуючись, і нарешті розривається при видовженні 13%. На відміну від сталевий дріт кварцове ОВ рветься приблизно при видовженні 7%.

Хоча зусилля, при якому руйнується ОВ, складає 5,2 ГПа (див. рис. 1.9), фактично для ОВ великих довжин мінімальне розривне зусилля складає від 0,3 до 1,4 ГПа.

Причиною тому є мікроскопічні тріщини, що можуть знаходитись на поверхні ОВ. Сучасна технологія витягування ОВ до мінімуму зводить можливість появи мікротріщин на

поверхні ОВ. З метою запобігання можливості руйнування ОВ в процесі виробництва ОК, його транспортування, інсталяції та технічної експлуатації усі ОВ обов'язково піддають пруф-тесту (перемотуванню під розтягувальним навантаженням 0,34 ГПа). Нажаль, таке випробування дозволяє виявити лише суттєві мікротріщини та інші дефекти щойно виготовленого ОВ.

Мікротріщини мають тенденцію до зростання під впливом залишкових напруг (статичної втоми) в ОВ. Статична втома може виникати в ОВ під впливом вологи, високої температури, лужності або аміаку. Навіть якщо ОВ не буде піддаватись дії розтягувального зусилля, а буде постійно знаходитись в активному доквіллі, воно буде з часом виходить з ладу через статичну втому. Таким чином статична втома обмежує термін служби ОВ.

Для ОВ, що пройшов пруф-тест, мінімальний строк служби T_f (в добах) можна розрахувати за формулою:

$$\log[T_f] = -0,931 - 0,21n - \log(n-1) + (n-2)\log|\sigma_p| - n \cdot \log|\sigma_a|, \quad (1.49)$$

де: σ_p – зусилля при пруф-тесті в ГПа; σ_a – зусилля прикладене до ОВ протягом усього терміну служби в ГПа, n – коефіцієнт втомної міцності, величина якого залежить від особливості матеріалів серцевини та оболонки, прикладеного зусилля, температури та вологості. Деякі значення коефіцієнту втомної міцності при різних умовах доквілля подані у таблиці 1.2. Розрахунковий мінімальний термін служби ОВ, що пройшов пруф-тест з зусиллям 0,34 ГПа приведено на рисунку 1.10.

Таблиця 1.2 — Коефіцієнт втомної міцності [1.11]

Температура, °C	Відносна вологість, %	Коефіцієнт втомної міцності, n
23	45	20
23	97	14
42	Занурення у воду	7

Іншим фактором, що впливає на статичну втому, а отже і на строк служби, є наявність згинів ОВ (рисунк 1.11). При згині одна (зовнішня) частина ОВ піддається розтягувальному зусиллю, а інша (внутрішня) – стискаючому зусиллю. Стискаюче зусилля не впливає на строк служби ОВ, але розтягувальні зусилля впливають, причому зовнішня поверхня ОВ сильніше піддається дії розтягувального зусилля. Для ОВ діаметром 125 мкм розтягувальне зусилля σ_a на поверхні ОВ можна визначити за формулою:

$$\sigma_a = \frac{26,75}{R}, \quad (1.50)$$

де R – радіус згину ОВ в дюймах (1 дюйм = 25,4 мм). На рисунку 1.12 показано розподіл максимального розтягувального зусилля на поверхні ОВ при різних діаметрах згину.

Підсумовуючи результати розрахунків за графіками (рисунки 1.9 та 1.12) можна побудувати графік залежності мінімального терміну служби ОВ від радіусу згину (рисунок 1.13).

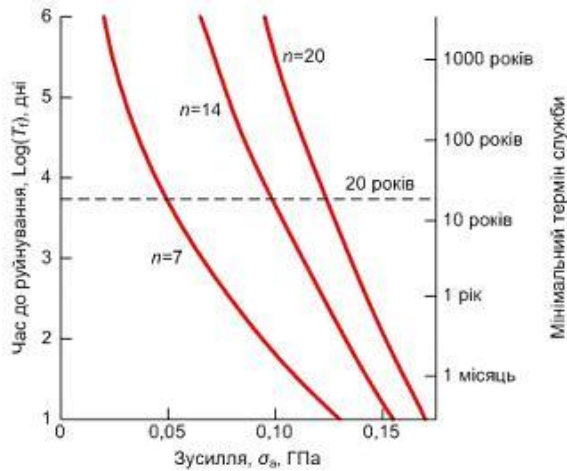


Рисунок 1.10 — Розрахунковий мінімальний термін служби ОВ при різних значеннях прикладеного зусилля [1.11]

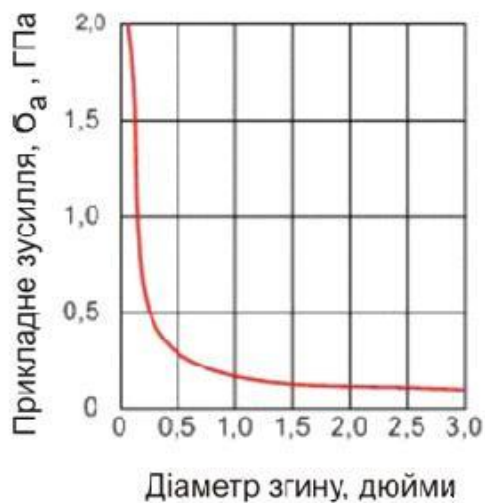


Рисунок 1.12 — Максимальне розтягуюче зусилля на поверхні ОВ діаметром 125 мкм при різних діаметрах згину ОВ [1.11]

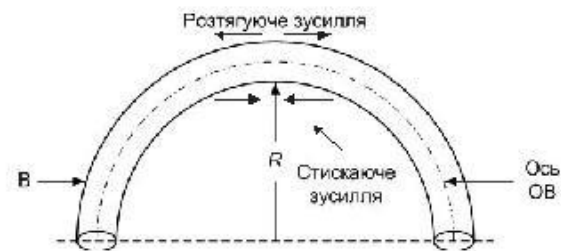


Рисунок 1.11 — Згин ОВ

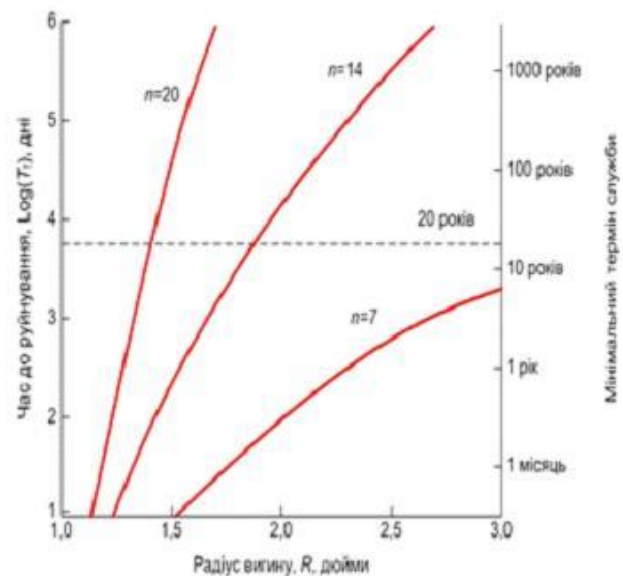


Рисунок 1.13 — Розрахунковий мінімальний термін служби ОВ при наявності вигину [1.11]

Слід зазначити, що руйнівне зусилля для коротких відрізків ОВ значно перевищує міцність довгих відрізків і може досягати рівня від 4,5 до 5,8 ГПа.

1.7 Нелінійні явища в оптичних волокнах

З розвитком оптичних систем передачі, постійно зростають потужність, що вводиться в ОВ та швидкості передавання по ОВ. Це спричиняє появу різноманітних нелінійних явищ. Нелінійні явища обмежують передавальну спроможність ОВ та протяжність волоконно-оптичних ліній передавання.

Такі явища обумовлені нелінійним відгуком матеріалу ОВ на збільшення інтенсивності світлового потоку. В результаті оптичні характеристики середовища (електронна поляризуємість, показник заломлення, коефіцієнт поглинання) стають функціями напруженості електричного поля світлової хвилі так, що поляризація середовища починає нелінійно залежати від напруженості поля, а хвилі з різними частотами і напрямками поширення – робити вплив одна на одну.

Нелінійні явища в ОВ посилюються із зростанням інтенсивності поля, тобто потужності потоку, що приходить на одиницю площі поперечного перерізу серцевини волокна. Як правило, щоб збільшити дальність і швидкість передачі, прагнуть зменшити накопичену дисперсію кабелю, тому застосовують одномодове ОВ, що має малий діаметр серцевини (до 10 мкм). Проте використання одномодового ОВ та низькі оптичні втрати можуть приводити до виникнення високої щільності потоку випромінювання на досить протяжних ділянках.

При аналізі технології спектрального (хвильового) ущільнення (WDM – wavelength-division multiplexing) слід враховувати наступні явища: **фазова само модуляція** та **перехресна фазова модуляція** (котрі спричинені нелінійним заломленням), **вимушене розсіювання** і **чотирихвильове змішування**.

Фазова саомодуляція (ФСМ) – змінення в часі фази імпульсів цифрового сигналу, що передається по оптичному волокну, яка виникає внаслідок залежності показника заломлення матеріалу оптичного волокна від інтенсивності електромагнітного поля.

Фазова саомодуляція спричинює розширення енергетичного спектра передаваного сигналу.

Перехресна фазова модуляція (ПФМ) – змінення в часі фази імпульсів цифрових сигналів, що передаються у різних каналах ВОСП із спектральним розділенням каналів, яка виникає внаслідок взаємодії канальних сигналів через залежність показника заломлення матеріалу оптичного волокна від інтенсивності електромагнітного поля.

Залежність показника заломлення серцевини ОВ та фази вихідного сигналу від інтенсивності оптичного сигналу викликають нелінійне заломлення:

$$n = n_0 + n_N \frac{P_0}{A_{\text{еф}}}, \quad (1.51)$$

де: n_0 – показник заломлення серцевини ОВ при низьких рівнях оптичної потужності (для кварцового ОВ $n_0 \approx 1,47$);

n_N – коефіцієнт нелінійності показника заломлення (величина може змінюватись в межах від 2,2 до $3,6 \cdot 10^{-20}$ м²/Вт. Для кварцового ОВ $n_N = 2,35 \cdot 10^{-20}$ м²/Вт);

P_0 – оптична потужність, Вт;

$A_{\text{еф}}$ – ефективна площа серцевини ОВ, м².

Коли потужність сигналу досить велика, її коливання приводять до фазової самомодуляції (ФСМ) та перехресної фазової модуляції (ПФМ). У першому випадку сигнал впливає сам на себе, в другому – на сигнал в іншому каналі. Кожен з цих ефектів може створювати перешкоди, коли передача ведеться за допомогою фазової маніпуляції. Максимально допустиме значення потужності оптичного сигналу в каналі, обумовлене ФСМ і ПФМ, обернено пропорційне числу мультиплексованих каналів.

Залежність показника заломлення кварцового ОВ ($n_1 = 1,47$) від потужності оптичного сигналу подано на рис. 1.14. Навіть незначна зміна показника заломлення n може істотно впливати на якість передачі високошвидкісних сигналів на ВОЛЗ великої довжини.

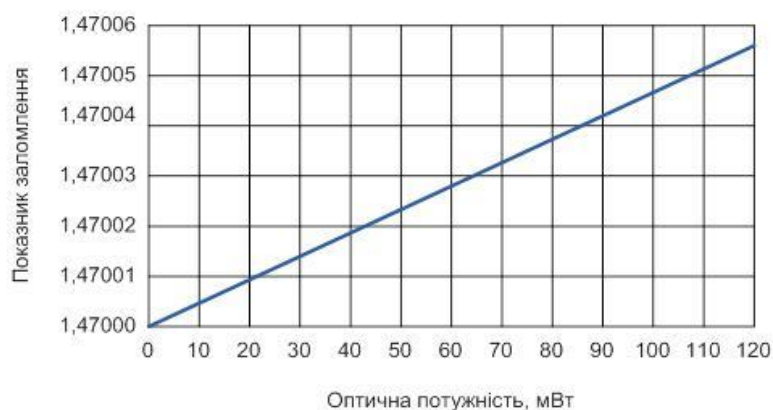


Рисунок 1.14 — Залежність показника заломлення від потужності оптичного сигналу [1.12].

Вимушеним розсіюванням оптичної хвилі є розсіювання на елементарних збудженнях середовища, що викликається розсіюваною хвилею. Оскільки процес розсіювання стимулюється самим розсіюваним світлом, розсіяне випромінювання характеризується високою мірою когерентності, вузькими діаграмами спрямованості окремих компонентів та інтенсивністю, порівнянною з інтенсивністю падаючої хвилі. Таким чином, при збудженні середовища потужною оптичною хвилею відбувається модуляція параметрів середовища, що приводить до амплітудної модуляції розсіяної оптичної хвилі, а отже, до появи нових спектральних компонентів.

Найважливіші види такого явища це вимушене комбінаційне розсіяння (ВКР), інколи зване раманівським, і вимушене розсіяння Бріллюена (ВРБ).

Вимушене комбінаційне розсіяння (ВКР) – розсіювання світла на коливаннях поляризованих молекул матеріалу оптичного волокна, що спричинює появу в спектрі оптичного сигналу, крім складників з частотою ν , нових складників з частотами $\nu-d$ і $\nu+d$, де ν – частота оптичного сигналу, d – частота коливань молекул.

ВКР виникає за впливу світла великої інтенсивності на активну речовину ОП, що спричинює поляризацію молекул і їхні теплові коливання.

Вимушене розсіяння Бріллюена (ВРБ) – розсіювання світла великої інтенсивності, що виникає в нелінійному середовищі внаслідок збудження когерентних акустичних коливань молекул речовини, причому світлова хвиля, що розсіюється, має частоту $\nu_p = \nu - d_a$, де ν – частота падаючої хвилі, d_a – частота акустичних коливань часток речовини

ВРБ пов'язане з появою в середовищі розповсюдження сигналу гіперзвукових хвиль розсіяне випромінювання Бріллюена поширюється в напрямку, протилежному до напрямку розповсюдження випромінювання оптичного сигналу, що його викликає.

ВРБ обмежує кількість оптичної потужності, яка може бути передана через волоконно-оптичну лінію. Ефект ВРБ для вузькосмугового джерела випромінювання показано на рис.1.15.

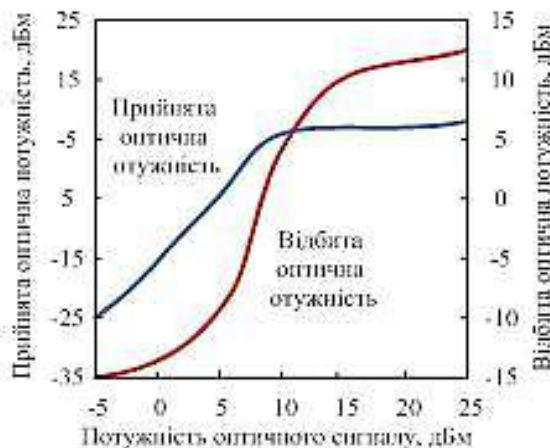


Рисунок 1.15 — Ефект ВРБ для вузькосмугового джерела випромінювання [1.13]

Вплив ВКР невеликий (менше 1 дБ на канал), якщо добуток сумарної потужності каналів на різницю між частотами крайніх каналів менше 500Вт·ГГц. Іншими словами, даний ефект є істотним лише для систем зі значною кількістю каналів.

На відміну від ВКР, випромінювання, розсіювання Бріллюена, поширюється лише в напрямі, протилежному до напрямку падаючого. Його інтенсивність значно вища, ніж при ВКР. ВРБ породжує

перехресні перешкоди, якщо різниця несучих частот складає 11 ГГц, а передача ведеться в протилежних напрямках. Інша відмінність від ВКР полягає в тому, що максимально допустима потужність каналу не залежить від числа мультиплексованих каналів і відстані між ними. Її типові значення для високошвидкісних телекомунікаційних ліній дорівнює 10 мВт. ВРБ є єдиним з

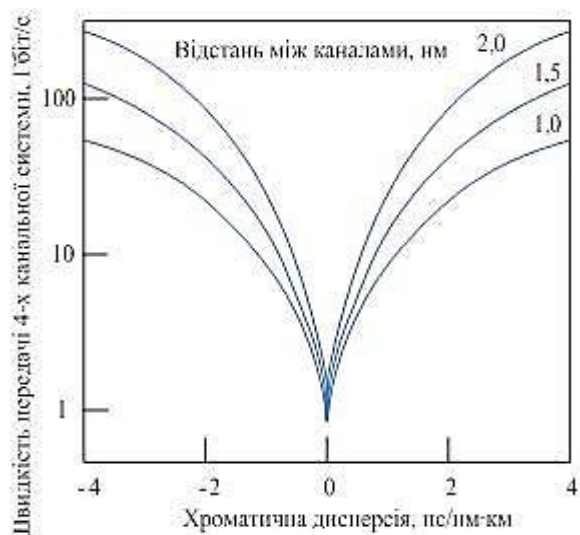
описуваних нелінійних явищ, вплив якого залежить від швидкості передачі. Із зростанням останньої воно зменшується, причому особливо швидко при використанні фазової маніпуляції. ВРБ можна нехтувати для імпульсів коротших за 10 нс.

Чотиреххвильове змішування (ЧХЗ) – нелінійна взаємодія в оптичному волокні двох або більшої кількості світлових хвиль з різними частотами, яка породжує нові світлові хвилі з комбінаційними частотами

ЧХЗ виникає внаслідок залежності показника заломлення матеріалу оптичного волокна (ОВ) від інтенсивності світла. Інтенсивність нових світлових хвиль максимальна, коли частоти поширюваних світлових хвиль розташовані в околі частоти нульової хроматичної дисперсії ОВ. Чотиреххвильове змішування призводить до виникнення перехресних завад та шумів на довжинах хвиль, котрі не використовуються для передавання інформації

Чотиреххвильове змішування (ЧХЗ) полягає в тому, що за наявності двох попутних хвиль з частотами f_1 та f_2 (де $f_1 < f_2$) виникають ще дві хвилі, з частотами $2f_1 - f_2$ та $2f_2 - f_1$, які поширюються в тому ж напрямі і посилюються за рахунок перших. Аналогічні процеси відбуваються у випадку, коли є три (або більше) хвиль.

Даний тип нелінійності тісніше за інших пов'язаний з параметрами системи: на нього впливають не лише довжина ОВ та площа перерізу його сердцевини, але й відстань між сусідніми каналами та дисперсія (рис. 1.16). Зі всіх розглянутих явищ ЧХЗ є найбільш значним для сучасних систем зі щільним спектральним (хвильовим) розділенням (DenseWDM-систем).



Рисуюнок 1.16 — Вплив дисперсії на швидкість систем при наявності ЧХЗ [1.13]

ЧХЗ можна усунути, вибравши неоднакове рознесення між сусідніми каналами. Крім того, даний ефект пригнічується дисперсією, оскільки вона порушує узгодження фаз. З цієї причини ОВ із зміщеною дисперсією, розроблене для зменшення хроматичної дисперсії в діапазоні 1550 нм, малоприсадибне для WDM-систем з рознесенням каналів 50 ГГц (0,4 нм) і менше. В цьому випадку використовують спеціальні типи ОВ (Truewave, Allwave тощо).

У звичайному одномодовому ОВ із ступінчастим профілем показника заломлення ЧХЗ між каналами f_1 та f_2 відсутнє, якщо $f_2 - f_1 > 20$ ГГц. Максимально допустима потужність каналу в даному випадку практично не

залежить від числа мультиплексуємих каналів. Для звичайного ОВ при WDM з рознесенням каналів 10 ГГц вона дорівнює декільком міліватам.

Слід зазначити, що нелінійні ефекти використовуються для реалізації різних пристроїв для волоконно-оптичного зв'язку. Так, наприклад, ВРМБ можна використовувати для реалізації режиму введення/виводу каналів, ПФМ та ЧХЗ застосовуються в хвильових конверторах для перенесення корисного сигналу з однієї довжини хвилі на іншу, а ВКР та ВРМБ – у волоконних лазерах, підсилювачах і спеціальних рефлектометрах.

Зведені характеристики нелінійних явищ в ОВ приведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Нелінійні оптичні ефекти в ОВ [1.13]

Нелінійне оптичне явище	Причина	Характеристики	Критична оптична потужність в одномодовому ОВ	Вплив
Фазова само-модуляція (ФСМ) та перехресна фазова модуляція (ПФМ)	Виникає внаслідок залежності показника заломлення ОВ від інтенсивності світла	Зсув фази самомодуляції (ФСМ) зближення каналів (ПФМ) розширення спектру частот	$P_c > \sim 10$ мВт	Розширення енергетичного спектра переданого сигналу
Четирехвильове змішування (ЧХЗ)	Виникає внаслідок залежності показника заломлення ОВ від оптичної потужності	Змішування генерованих продуктів $f_{ijk} = f_i + f_j - f_k$ ($i, j \neq k$)	$P_c > \sim 10$ мВт (для ОВ G.653) - залежить від конкретних параметрів, наприклад, каналних інтервалів та наближення до λ_0	Оптичні переходи у системах WDM; Потужність сигналу виснаження
Вимушене розсіювання Бріллюена (ВРБ)	Взаємодія фотонів-акустичних фононів	Зворотне направлення Бріллюєвської лінії $f - \Delta f$ $\Delta f = \sim 13$ ГГц (1310 нм) $\Delta f = \sim 11$ ГГц (1550 нм)	$P_c > \sim 5$ мВт (для оптичних джерел з вузькою спектральною лінією) P_c збільшується з розширенням спектральної лінії сигналу	Нестабільність сигналу; Оптичні втрати у ОВ; Оптичні переходи у двонаправлених багатоканальних системах
Вимушене комбінаційне розсіювання (ВКР)	Взаємодія фотонів-акустичних фононів	Раманівська лінія $f - n\Delta f$ (навантаження) $\Delta f = \sim 12$ ТГц $\Delta \lambda = \sim 70$ нм (1310 нм) $\Delta \lambda = \sim 102$ нм (1550 нм)	$P_c > \sim 1$ Вт (для одинарного каналу) $P_c > \sim 1$ мВт для Раманівського розширення систем WDM з критичними каналними інтервалами, $\Delta \lambda$	Оптичні втрати у ОВ; Оптичні переходи в системі WDM; Потужність сигналу виснаження

Порівняльні характеристики впливу нелінійних явищ на волоконно-оптичні системи передавання подано у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Вплив нелінійних ефектів на системи передавання великої протяжності [1.13]

Тенденції розвитку систем великої протяжності	ФСМ вплив	ПФМ штраф	ЧХЗ штраф	ВРБ штраф	ВКР штраф
Скорочення довжини лінії	–	+	+	ВПВ	ВПВ
Збільшення кількості каналів	–	+	+	ВПВ	+
Збільшення потужності каналу	+	+	+	+	+
Збільшення числа прольотів (міжміський)	+	+	+	+	+
Збільшення частки каналу розрядні	+	–	=	–	ВПВ
Збільшення каналів через альтернативні методи мультиплексування (такі як поляризаційне мультиплексування)	ВПВ	ВПВ	ВПВ		
Збільшення швидкості каналів через альтернативні методи кодування сигналу (такі як поляризаційне мультиплексування)	ВПВ	ВПВ	ВПВ		
ПРИМІТКА – Вплив може бути позитивним (утворення солітону) або негативними для продуктивності системи. + Штрафи збільшуються – Штрафи зменшуються = Штрафи не сильно змінюються ВПВ Штрафи вимагають подальшого вивчення					

1.8 Виробництво оптичних волокон

Виробництво ОВ складний процес, що включає в себе послідовність кількох технологічних операцій. Кожна з цих операцій націлена на оптимізацію механічних, геометричних та оптичних характеристик ОВ. Крім того, застосовувані технологічні операції дозволяють здійснювати швидко та економічне масове виробництво.

Загальна технологічна схема виготовлення ОВ включає виробництво заготовок (преформ) та витягування з них ОВ.

Преформа являє собою скляний стрижень, що складається зі скла серцевини та оболонки. При чому профіль показника заломлення ОВ відповідає профілю показника заломлення преформи. Пропорції геометричних розмірів преформи відповідають пропорціям геометричних розмірів ОВ.

Виготовлення преформ здійснюється різними технологічними методами, в основі яких лежать метод рідкої фази, парофазна техніка та золь-гель процес [1.14]. Преформи ОВ для телекомунікацій головним чином виготовляються методом парофазного осаджування. В таблиці 1.5 дано перелік найчастіше

використовуваних методів парофазної техніки для виготовлення ОВ дослідного та промислового застосування [1.15].

Таблиця 1.5 — Методи парофазного осаджування [1.16]

VPP — Vapour Phase Processes (парофазний процес)	IVPO — Inside Vapour Phase Oxidation (внутрішнє парофазне окислювання)	MCVD — Modified Chemical Vapour Deposition (модифікований метод хімічного парофазного осаджування)	
		PCVD — Plasma Chemical Vapour Deposition (плазмове хімічне парофазне осадження)	PCVD — Plasma Chemical Vapour Deposition (плазмове хімічне парофазне осадження)
			PECVD — Plasma Enhanced Chemical Vapour Deposition (підсилене плазмове хімічне парофазне осадження)
			PICVD — Plasma Impulsed Chemical Vapour Deposition (імпульсне плазмове хімічне парофазне осадження)
			SPCVD — Surface Plasma Chemical Vapour Deposition (поверхнєве плазмове хімічне парофазне осадження)
	OVPO — Outside Vapour Phase Oxidation (зовнішнє парофазне окислювання)	OVD — Outside Vapour Deposition (зовнішнє парофазне осадження)	
		VAD — Vapour Axial Deposition (осьове парофазне осадження)	

Найбільш розповсюдженим є розроблений у 1974 році Джоном Мак Чесні з AT&T Bell Labs модифікований метод хімічного парофазного осаджування (MCVD – Modified Chemical Vapor Deposition) [1.14].

Цей метод став одним з найбільш випробуваних і перевірених способів виробництва преформ. Сам процес досить простий, гнучкий і тому неважкий для освоєння. Він використовується для проведення різних експериментів та досліджень. При використанні цього методу можлива зміна будь якого параметру, наприклад, типу волокна (одномодове чи багатомодове), діаметру ОВ, числової апертури або профілю показника заломлення. Ці параметри змінюються шляхом регулювання (за допомогою комп'ютера) витрат пари двоокису кремнію та концентрації різних домішок. Це дає змогу виготовляти різноманітні типи ОВ.

При використанні методу MCVD (рисунок 1.17) відбувається осадження надчистого двоокису кремнію (при виготовленні серцевини завжди додаються певні домішки) на внутрішній поверхні скляної трубки. Потім під дією підвищення температури від полум'я газового пальника або струмів надвисокої частоти трубка усаджуються. В результаті цього трубка стискається і перетворюється на суцільний скляний стрижень діаметром 30...40 мм завдовжки близько 1000 мм. Таким чином, цей скляний стрижень отримує остаточний профіль показника заломлення, який матиме і виготовлено з нього волокно.

Процес осаджування базується на високотемпературному окисленні SiCl_4 та речовин, що використовуються як домішки. В залежності від розміру заготовки процес осаджування триває від чотирьох до восьми годин, протягом яких відбувається осадження і того скла, яке стане оболонкою волокна, і того, яке перетвориться на серцевину світловоду. Процес однаковий як для одномодових так і для багатомодових ОВ.

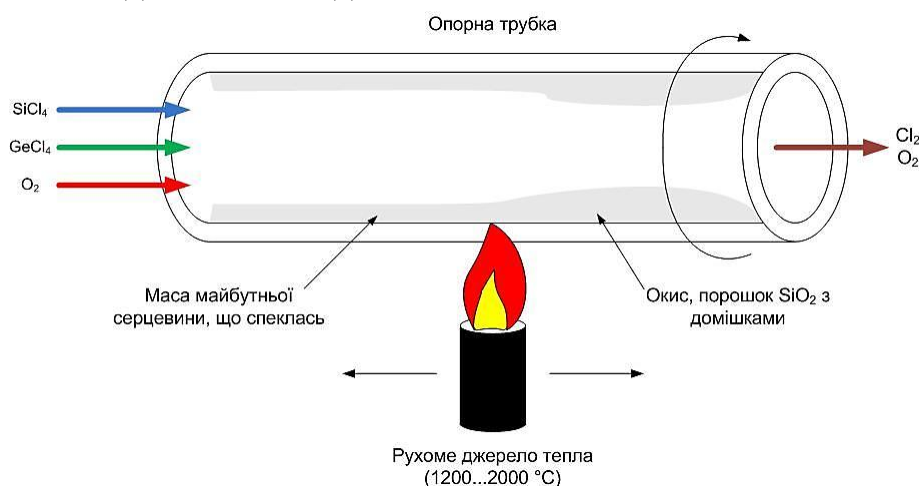


Рисунок 1.17 — Виготовлення ОВ методом MCVD

В якості домішок до серцевини ОВ найчастіше використовується окис германію, який збільшує показник заломлення. Окис фосфору застосовується для зниження необхідної температури процесу, а фтор – для зменшення показника заломлення оболонки ОВ. Зазвичай основою для виготовлення ОВ слугує опорна кремнеземна трубка (рисунок 1.17).

Процес починається з того, що опорна трубка з надчистого високоякісного кремнезему (двоокису кремнію, синтетичне кварцове скло SiO_2) промивається в кислотній ванні, а потім затискається в пристрій, що нагадує токарний верстат. У ній трубка може обертатися довкола своєї центральної осі. Киснево-водневий газовий пальник рухається уздовж трубки назад і вперед, сильно та рівномірно нагріваючи трубку. Вхідний кінець трубки через газонепроникну з'єднувальну муфту, що обертається, приєднується до комплексу подачі газів. В нього входять змішувач газів і автоматизовані

регулятори розходу газів. Комплекс має бути абсолютно герметичним, щоб запобігти попаданню всередину забруднюючих речовин та забезпечити точне дозування газів. Хімічні реактиви поступають з резервуарів. Шляхом нагріву вони переходять з рідкої фази в газоподібну і подаються в трубку. Туди ж подається кисень O_2 . З іншого (вихідного) кінця трубки виводиться надлишковий матеріал.

Під час процесу ретельно контролюється кількість хімічних речовин, що подаються в трубку або за допомогою газів-носіїв (Ar , He та O_2), або у вигляді окремого потоку. Окислення $SiCl_4$ і домішок відбувається в зоні нагрівання, безпосередньо над пальником при температурі $1000...1400^\circ C$

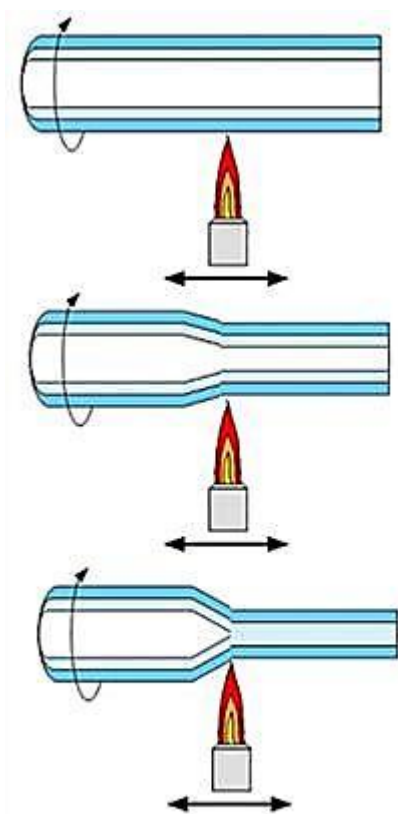


Рисунок 1.18 — Усадка преформ

Окис, що утворюється у вигляді дрібного порошку – це оксиди кремнію і германію SiO_2 та GeO_2 , потоком газу розносяться вздовж трубки і потім осаджуються. Пари хлору випаровуються. Коли тепло від пальника досягає осадженого порошку, він плавиться і перетворюється на суцільний, без включення бульбашок, прозорий шар двоокису кремнію (з домішками або без них). Коли пальник доходить до кінця трубки він міняє напрям і швидко рухається уздовж трубки у зворотному напрямку щоб забезпечити осаджування нового шару порошку. Під час осаджування здійснюється введення неоднакової кількості різних домішок. Шляхом послідовного осаджування шарів двоокису кремнію та ретельного дозування домішок можна отримати ОВ з різними профілями показника заломлення. При цьому, наскільки це технічно можливо, запобігають попадання в систему забруднюючих речовин. Особливо тих, що містять водень, які утворюють з'єднання OH^- , які приводять до зростання рівня загасання у ОВ.

Основною перевагою методу MCVD є те, що структуру (властивості) світловоду можна забезпечити ще на етапі підготовки преформи. Відносні розміри і профіль показника заломлення заготівки передаються готовому волокну в процесі витягування.

Після того, як осадження завершується, починається наступний важливий етап процесу виготовлення – усадка трубки (рисунок 1.18). Цей етап

складається з декількох кроків. Щоб забезпечити усадку за допомогою киснево-водневого пальника або струмів надвисокої частоти температуру піднімають до 1500...2000°C [1.1].

При такій температурі трубка поступово розм'якшується і усаджується, утворюючи суцільний стрижень – преформу. Цей крок є вирішальним для забезпечення остаточних геометричних параметрів преформи. Усадка відбувається тоді, коли киснево-водневий пальник або струми надвисокої частоти впливають на трубку по всій її довжині. Усадка забезпечується поверхневим натягненням в'язкої внутрішньої течії, що виникає та зростає по мірі нагрівання скла, яке стає більш гарячим і менш в'язким [1.8].

Другим методом виробництва ОВ традиційно вважають метод зовнішнього парофазного осадження (Outside Vapour Deposition - OVD). Винахідниками даного методу є група вчених компанії Corning Роберт Маурер, Дональд Кек і Петер Шульц. Хімічні аспекти цього методу ті ж самі, що і в методі MCVD. Метод OVD набагато складніший за метод MCVD. Ця складність та наявний всебічний патентний захист практично означають, що застосовують цей метод лише компанія Corning та її ліцензіати. Проте, загальна кількість преформ, виготовлених методом OVD не менше, а може бути і більше, ніж методом MCVD. Це пояснюється тим, що при масовому виробництві, метод OVD набагато ефективніший, ніж MCVD.

На першому етапі відбувається осадження порошкоподібного двоокису кремнію (так званої білої сажі) з домішками або без них – на тонкому стрижні (рисунок 1.19). Гарячий потік часток порошкоподібного двоокису кремнію рухається над поверхнею стрижня. При цьому деякі частки осідають на стрижні. Сам стрижень в цей час обертається і одночасно рухається в осьовому напрямі, проходячи через пальник. Деякі частки при цьому спікаються. Після осадження необхідної для формування серцевини та оболонки кількості скла процес зупиняється, а опорний стрижень акуратно видаляється із преформи.

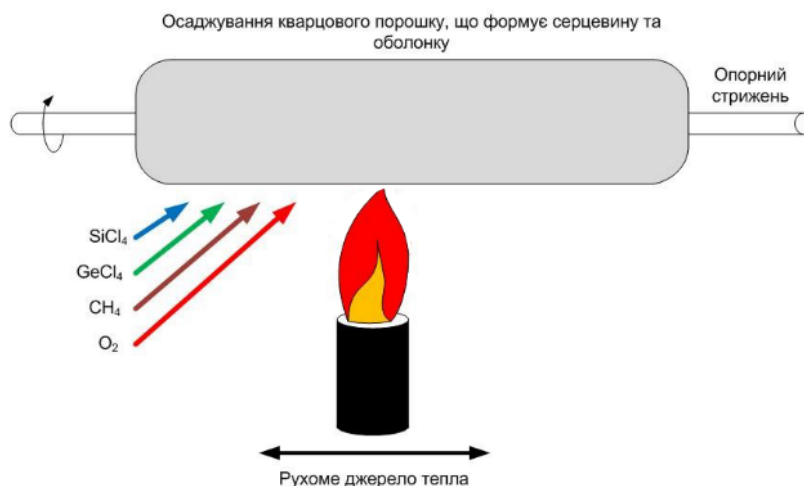


Рисунок 1.19 — Виготовлення преформи методом OVD

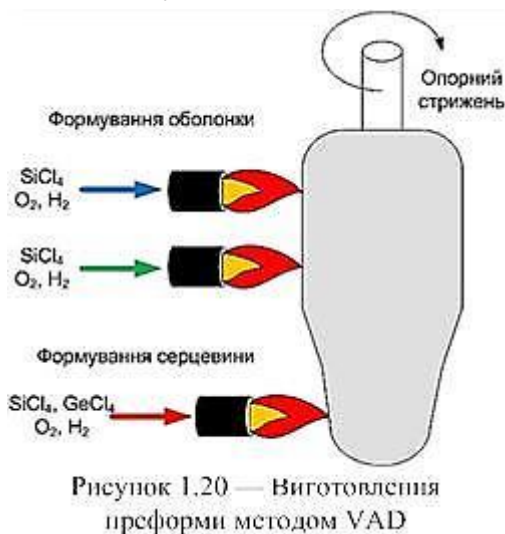
Спочатку пориста преформа нагрівається в середовищі газоподібного хлору (при цьому видаляється вода), а потім нагрівається ще сильніше, до температури 1400....1600 °С, при якій частки білої сажі спікаються в суцільний скляний стрижень без бульбашок повітря – преформу. Все це відбувається в печі при ретельно контрольованих умовах. На цьому етапі пористий вихідний стрижень усаджується і плавиться.

Після цього преформа (суцільна або порожниста) нагрівається до температури 1800...2300°С, при якій з неї можна витягувати волокно.

Таким чином процес OVD складається з п'яти основних кроків:

- очищення сировини;
- подача реакційних речовин в зону нагрівання;
- хімічні реакції і утворення часток білої сажі;
- осадження часток на підкладці (опорному стрижні або вже осадженій преформі);
- дегідратація та спікання.

Метод осьового парофазного осадження (VAD) був розроблений в Японії. Винахідником методу вважається група японських учених корпорації NTT на чолі з Татсуо Ізавой [1.17].



Метод VAD аналогічний методу OVD [1.18]. Основною відмінною методу VAD є те, що кварцевий порошок (біла сажа) осідає в осьовому напрямі, а не в радіальному (як в процесі OVD). Це ускладнює модифікацію профілю показника заломлення, але полегшує виробництво довгих преформ. При виготовленні використовуються механізм осьового переміщення преформи, реакційна камера, пальник, випарник для сировини та блок управління. Заготівка повільно

протягується вгору, проходячи через використовуване устаткування (рисунок 1.20). Домішки вводяться так само, як і при використанні методу OVD: застосовується киснево-водневий газовий пальник, а дуже дрібні частки скломаси, що утворились в наслідок реакції гідролізу в полум'ї, осідають на торцевій поверхні вже осадженої преформи. Ця преформа використовується як підкладка для подальшого нарощування заготівки. Пориста заготівка рухається в осьовому напрямі, нарощуючи свою масу по ходу руху. У кільцевій електричній печі з графітовим нагрівальними стрижнями преформа зневоднюється і перетворюється на прозорий твердий стрижень.

Важливими відмінними рисами процесу є наступне:

- можливість постійного нарощування приформи;
- точне регулювання витрат сировини;
- підтримка постійної температури полум'я;
- підтримка постійної температури в зоні нагрівання преформи;
- забезпечення постійної швидкості обертання преформи;
- можливість збереження зони нарощування преформи у визначеному місці.

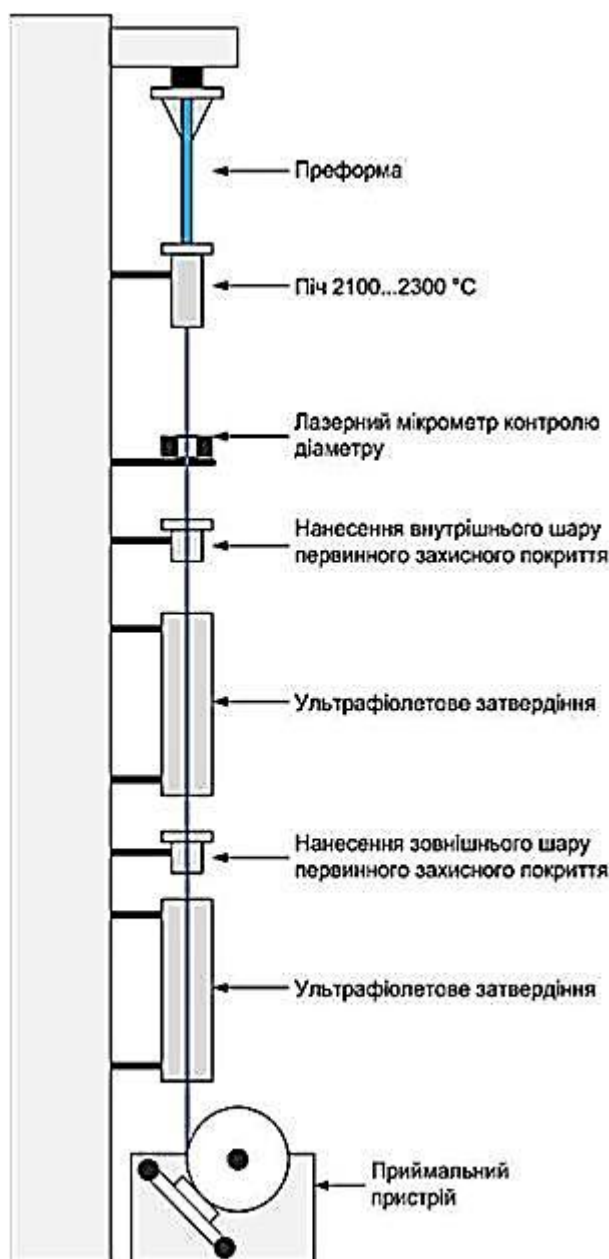


Рисунок 1.21 — Витягування волокна

Переміщення зони нарощування преформи в інше місце приводить до змін профілю показника заломлення готової преформи. Швидкість переміщення в осьовому напрямі (тобто швидкість нарощування преформи) складає приблизно 40...60 мм/год.

Для того, щоб забезпечити осадження, використовуються від одного до трьох пальників. Змінюючи число пальників, склад та пропорції сировини, можна забезпечити отримання різних профілів показника заломлення. В ході затвердіння преформа зневоднюється в середовищі газоподібного хлору. Товщину оболонки преформи можна збільшувати шляхом додаткового осадження на поверхні вже готової преформи. Це дозволяє отримувати дуже великі преформи.

Готова преформа (незалежно від способу її виготовлення) витягується у волокно. Це відбувається в спеціальній витяжній башті заввишки близько 12 м (рисунок 1.21).

Процес витягування починається нагорі башти, де преформа затискається в центруючому патроні. Нижній кінець преформи подається в електричну піч, де він нагрівається до температури понад 2000°C. Графітовий нагрівальний елемент захищається середовищем з інертного газу аргону. Преформа повільно

опускається в піч. В той самий час з неї вниз виходить витягуване волокно (рисунок 1.22). Швидкість витягування і швидкість подачі автоматично контролюються за допомогою комп'ютера.

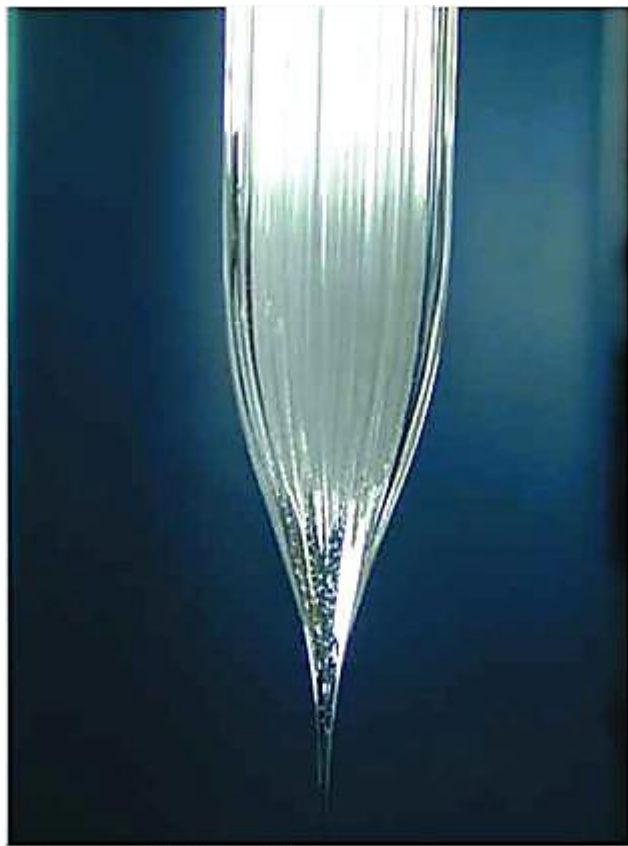


Рисунок 1.21 — Витягування оптичного волокна з преформи [1.16]

Діаметр волокна перевіряється вимірним приладом з лазерним управлінням відразу ж під піччю. Отримані значення передаються в систему контролю, яка і регулює швидкість витяжної шпильної лебідки, що знаходиться в нижній частині башти. Збільшення діаметру волокна приводить до збільшення швидкості витягування і навпаки. Зазвичай діаметр волокна складає 125 ± 2 мкм, а швидкість витягування – 3...10 м/с. Волокно охолоджується повітрям, що оточує його. В отриманому витягуванні волокні співвідношення між геометричними параметрами оболонки і серцевини таке ж, як і в преформі [1.19].

Потім волокно покривається захисним шаром акрилату. Таким чином, волокно отримує первинне покриття. Це відбувається в той час, коли волокно все ще знаходиться в башті. Первинне покриття складається з двох шарів акрилату – м'якшого внутрішнього шару і жорсткішого зовнішнього. Іноді використовують силікон.

Відразу ж після нанесення первинного покриття воно твердіє під впливом ультрафіолетового випромінювання. При другій перевірці діаметру волокна перевіряється діаметр первинного покриття та його співвідношення з волокном. Волокно отримало свій остаточний діаметр – 250 ± 15 мкм.

Перелік посилань до розділу 1

- 1.1 Mahlke G., Gossing P. Fiber optic cables: fundamentals, cable engineering, systems planning. – Berlin; Munchen: Siemens-Aktienges., 1993. – 244 p.
- 1.2 Гауэр Дж. Оптические системы связи. – М.: Радио и связь, 1989. – 504 с.
- 1.3 В.Б. Каток. Волоконно-оптичні системи зв'язку. – К., Велар, 1999. – 483 с.
- 1.4 Снайдер А., Лав Д. Теория оптических волноводов. Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 656 с.
- 1.5 Optical Fibres, Cables and Systems. ITU-T Handbook. 2010. – 299 p.
- 1.6 Підвішування оптичних кабелів зв'язку: Навчальний посібник / Олійник В.Ф., Соловійов Д.О., Руденко І.Е. – К., ДУІКТ, 2004. – 119 с.
- 1.7 ITU-T Recommendation G.650.1 (06/2004) Definitions and test methods for linear, deterministic attributes of single-mode fibre and cable (Визначення та методи випробування лінійних, детермінованих характеристик одномодових волокон та кабелю).
- 1.8 Kao C.K. Optical Fiber – London: Peter Peregrinus, 1988. – 158 p.
- 1.9 ITU-T Recommendation G.650.2 (07/2007) Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable (Визначення та методи випробування статистичних та нелінійних характеристик одномодових волокон та кабелю).
- 1.10 ITU-T Recommendation G.652 (10/2009) Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.
- 1.11 Refi J.J. Fiber optic cable – A LightGuide, abcTeleTraining, Geneva, Ill, 1991, 207p.
- 1.12 Песков С.Н., Барг А.И., Колпаков И.А. Нелинейные искажения в волоконно-оптических кабелях. – Теле-Спутник – 10(120) Октябрь 2005 г.
- 1.13 ITU-T Recommendation G.663 (04/2011) Application-related aspects of optical amplifier devices and subsystems
- 1.14 Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В., Дащенко А.Ф., Усов А.В. Волоконно-оптические кабели. Теоретические основы, конструирование и расчет, технология производства и эксплуатация. – Одесса: Астропринт, 2000. – 536 с.
- 1.15 L. Cognolato. Chemical Vapour Deposition for Optical Fibre Technology. Journal De Physique IV. Colloque C5, Volume 5, june 1995. – P. 975-987.
- 1.16 Microstructured Optical Fibers – Fundamentals and Applications. J. Lægsgaardw, A. Bjarklev. – Journal of the American Ceramic Society, 89 [1] 2-12 (2006).
- 1.17 Fukutomi H. Dr. Perspective of Optical Fiber Industry in the 21st Century. Japan 21st, June 1996. – 144 p.

-
- 1.18 K. H. Lewis, J.R. Bass. abc of the Telephone: Fiber Optic Fundamentals. abc TeleTraining, Inc., Geneva, Ill, 1991, — 119 p.
- 1.19 Nilsson – Gistvik S. Optical Fiber Theory for Communications Networks. Ericsson Cbles A.B. 1994. – 219 p.

2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

2.1 Основні типи оптичних волокон

Перші ОВ, що використовувались для потреб зв'язку були багатомодові і розроблялись для роботи на довжинах хвиль 850 та 1300 нм. Перша Рекомендація ІТУ-Т G.651 була прийнята у 1988 р. У 2007 р. замість неї була затверджена чинна сьогодні Рекомендація G.651.1. Слід зазначити, що перше вікно прозорості ($\lambda=850$ нм) було визначене не стільки оптичними властивостями ОВ, скільки характеристиками перших стабільних напівпровідникових джерел випромінювання. Нині багатомодові ОВ використовуються головним чином на місцевих мережах зв'язку на базі систем передавання плезіохронної цифрової ієрархії з робочою довжиною хвилі $\lambda=1300$ нм. Останнім часом багатомодові ОВ застосовуються на абонентських та розподільних лініях мереж доступу.

Одномодові ОВ розроблялись одночасно з багатомодовими, але з часом стали основними типами ОВ, які використовуються для потреб зв'язку. Першим типом одномодових ОВ були ОВ із ступінчастим профілем показника заломлення і серцевиною, легованою GeO_2 . Такі одномодові ОВ досі називають стандартними. Їх характеристики регламентовані Рекомендацією ІТУ-Т G.652 та Стандартом ІЕС 60793-2-50. Слід зазначити, що перша версія Рекомендації була затверджена у жовтні 1984 р. За цей час вона неодноразово переглядалась. На сьогодні чинною є восьма версія затверджена у жовтні 2009 р. Ці ОВ застосовуються найбільш широко як самі старі та масові типи ОВ. Останнім часом їх фактичне загасання було знижене до рівня 0,18–0,19 дБ/км. Єдиний їх недолік – досить велика хроматична дисперсія на довжині хвилі $\lambda=1550$ нм (17–20 пс/(нм×км)).

В середині 90-х років минулого століття почались роботи з розробки волоконно-оптичних систем зі спектральним розділенням каналів (WDM – Wavelength Division Multiplexing). На початку свого розвитку спектральне розділення здійснювалось шляхом об'єднання двох основних довжин хвиль (1310 нм та 1550 нм), що дозволяло подвоїти пропускну спроможність системи.

Пізніше вдалось видалити іони гідроксильної групи (OH^-) з конструкції ОВ, що зумовило розширення робочого діапазону довжин хвиль. Зниження рівня іонів гідроксильної групи привело до якісних змін передаточних характеристик одномодових ОВ.

Такі зміни в свою чергу створили умови для широкомасштабного впровадження технологій WDM для побудови високо інформаційних транспортних мереж. Сьогодні для WDM систем зв'язку стандартизовано шість

вікон прозорості в діапазоні від 1260 нм до 1675 нм [2.1]. Спектральні характеристики вікон прозорості подані в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Границі оптичних діапазонів для WDM систем зв'язку

Смуга	Назва	Діапазон (нм)
O	Original (Основний діапазон)	1260 ... 1360
E	Extended (Розширений діапазон)	1360 ... 1460
S	Short wave length (Короткохвильовий діапазон)	1460 ... 1530
C	Conventional (Стандартний діапазон)	1530 ... 1565
L	Long wave length (Довгохвильовий діапазон)	1565 ... 1625
U	Ultra long wave length (Наддовгохвильовий діапазон)	1625 ... 1675

Перша Рекомендація ITU-T G.653 по одномодовим ОВ зі зміщенням дисперсії була затверджена у 1984 р. Сьогодні чинною є сьома версія затверджена у 2010 р. Ці ОВ знайшли застосування в системах зв'язку на базі синхронної цифрової ієрархії рівня STM-16 і вище, причому, головним чином, в США, Канаді, Мексиці та Японії. В Європі ці ОВ майже не застосовувались через відсутність потреби в лініях великої довжини та відносно дорожнечу.

Спеціально для морських ВОЛЗ були розроблені ОВ, в яких серцевина виготовлена з чистого кварцового скла, а відбиваюча оболонка легована фтором – присадкою, що зменшує коефіцієнт заломлення. Такі ОВ відповідають Рекомендації ITU-T G.654 (прийнята в 1988 р., нині чинна восьма версія 2010 р) та Стандарту IEC 60793-2-50. ОВ ідентичні стандартним одномодовим ОВ, але завдяки тому, що серцевина зроблена з чистого кварцового скла, ОВ мають втрати на рівні 0,16–0,17 дБ/км.

Спеціально для систем із спектральним ущільненням (WDM та DWDM – (Dense (Щільне) WDM)) були розроблені одномодові ОВ із зміщеною ненульовою дисперсією. Характеристики цих ОВ регламентовані в Рекомендації ITU-T G.655 (запроваджена у 1996 р., остання п'ята версія прийнята в 2009 р.) та Стандарті IEC 60793-2-50. ОВ розраховані для роботи в широкому діапазоні довжин хвиль. Вибір конкретного типу ОВ залежить від використовуваного діапазону довжин хвиль, щоб забезпечити нульове або досить мале значення дисперсії. Крім того, в межах обраного робочого діапазону дисперсія має бути одного знаку і не менше 2 – 4 пс/нмкм.

ОВ G.655 (2004) має абсолютну величину коефіцієнта хроматичної дисперсії більшу за певне ненульове значення в діапазоні довжини хвилі від 1530 нм до 1565 нм. Ця дисперсія обмежує приріст нелінійних ефектів, які особливо шкідливі для систем зі щільним спектральним ущільненням (DWDM). Пізніше, для протяжних високошвидкісних систем зв'язку в Рекомендацією ITU-T G.655 була введена категорія ОВ з низьким рівнем поляризованої модової дисперсії (PMD) 0,20 пс/ $\sqrt{\text{км}}$.

У зв'язку з впровадженням CWDМ та DWDM оптичних систем передачі в грудні 2006 р. була затверджена Рекомендація ITU-T G.656 (нині чинна третя версія від 2010 р.), яка визначає характеристики одномодового волокна та кабелю з ненульовою дисперсією для широкополосної оптичної передачі. ОВ може використовуватись в усьому діапазоні довжин хвиль від 1460 нм до 1625 нм, який включає три спектральні смуги S (1460 – 1530 нм), C (1530 – 1565 нм) та L (1565 – 1625 нм).

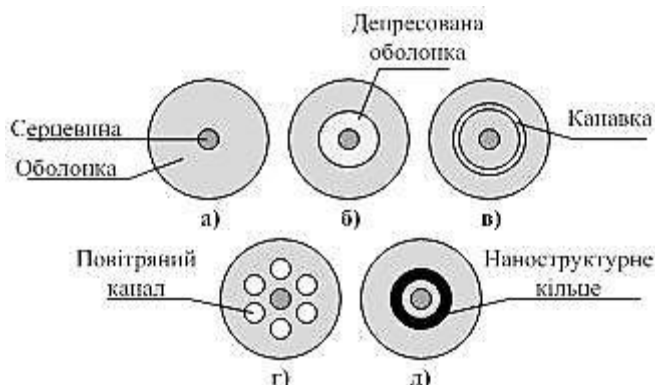


Рисунок 2.1 — Конструкції одномодових ОВ не чутливих до втрат на мікрозгинах: (а) із зменшенням діаметру поля моди; (б) депресованою оболонкою; (в) з канавкою; (г) з повітряними каналами та (д) наноструктурованим кільцем.

канали та нанотехнологічні шари. Приклади конструкцій ОВ з мінімізованими втратами на мікрозгинах подано на рисунку 2.1, а їх порівняльні характеристики на рисунку 2.2 [2.2].

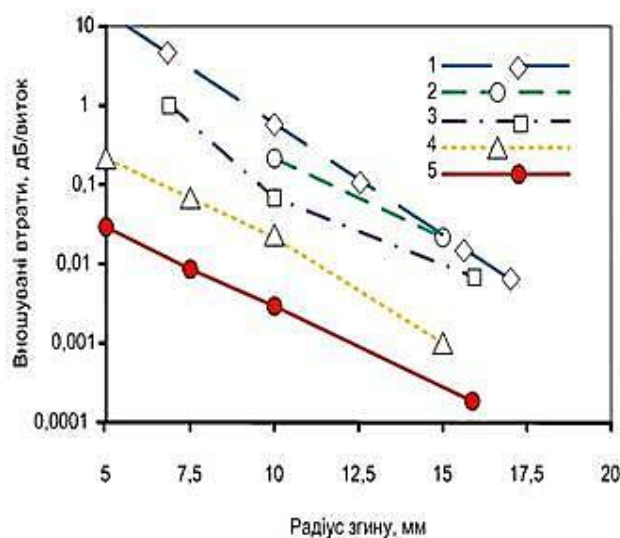


Рисунок 2.2 — Порівняння втрат на згинах різних конструкцій ОВ:

- 1 — стандартне одномодове;
- 2 — з депресованою оболонкою;
- 3 — з малим полем моди;
- 4 — з канавкою;
- 5 — з наноструктурованим кільцем.

На початку 90-х років розпочалось впровадження ОВ та ОК на мережах доступу. При цьому виникла потреба у застосування ОК з дуже малими радіусами згину (менше 10 – 15 мм). Для вирішення цієї проблеми було запропоновано кілька нових типів ОВ, що мали в своїй конструкції зменшений діаметр поля моди, депресовані оболонки, складні профілі показника заломлення або повітряні

Для застосування на оптичних мережах доступу Рекомендацією ITU-T G.657 (затверджена у 2006 р., переглянута у 2009 р.) було прийнято одномодове оптичне волокно та кабель, не чутливий до втрат на згинах. Ці волокна розроблені з метою забезпечити надійну роботу широкополосних оптичних систем при застосуванні кабелів в умовах тісних приміщень, де не має можливості забезпечити великі радіуси викладки ОК. Тому ОВ G.657 мають характеристики подібні до ОВ G.652, але допускають дуже малі радіуси згинів. Волокна поділені на дві

категорії.

Порівняльний аналіз класифікацій ОВ за рекомендаціями ІТУ-Т та стандартами ІЕС наведено у таблиці 2.2 [2.3]. Порівняння основних типів ОВ подано на рисунку 2.3.

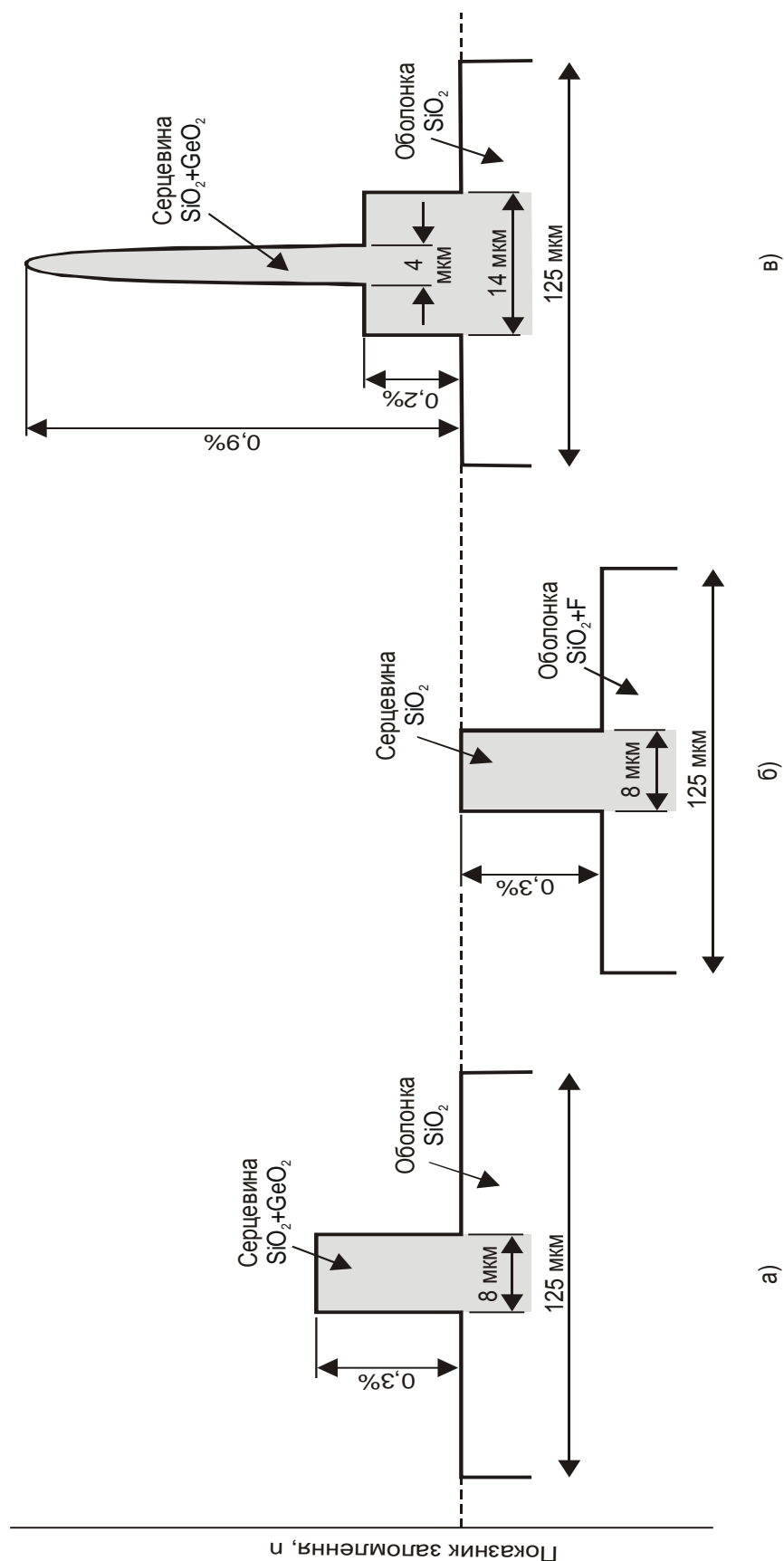


Рисунок 2.3 — Основні типи одномодових ОВ: стандартне (а), із зміщеною довжиною хвилі відсікання (б)

Таблиця 2.2 — Відповідність класифікацій ОВ ІТУ-Т та ІЕС

Класифікація ОВ			
ІТУ-Т		ІЕС	
Тип ОВ	Рекомендація	Категорія ОВ	Стандарт
Багатомодове градієнтре 50/125 мкм	G.651.1	Багатомодове А1	ІЕС 60793-2-10
Одномодове	G.652	Одномодове В1.1 та В1.3	ІЕС 60793-2-50
Одномодове зі зміщеною дисперсією	G.653	Одномодове В2	
Одномодове зі зміщеною довжиною хвилі відсікання	G.654	Одномодове В1.2	
Одномодове з ненульовою зміщеною дисперсією	G.655	Одномодове В4	
Одномодове з ненульовою дисперсією для широкополосних оптичних транспортних мереж	G.656	Одномодове В5	
Одномодове, не чутливе до втрат на макрозгинах, для використання на мережах доступу	G.657	Одномодове В6	

Варіанти застосування різних категорій ОВ на різних мережах зв'язку подано на рисунку 2.4 [2.4].

	≥160	CWDM G.652.C G.655		3 WDM G.655, G.656				
≤40	≤160	G.652		WDM G.652.B,D G.655 G.656	Без WDM G.653 3 WDM G.652.D, G.655, G.656			
≤10	≤40							
≤10	≤10							
≤2,5	≤10							
≤2,5	≤2,5							
	≤1	G.657						
Поточна	Майбутня	0-500 м	0-20 км	0-70 км	70-200 км	200-500 км	500-1200 км	>1200 км
Швидкість передачі, Гбіт/с		Домові мережі	Мережі доступу	Міські мережі		Довгі мережі		Наддовгі мережі

Рисунок 2.4 — Оптимальні варіанти застосування одномодових ОВ

При проектуванні ВОЛЗ досить важливим параметром, який визначає енергетичний баланс системи, є загасання волоконно-оптичної лінії. Загасання волоконно-оптичної лінії A складає:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_{cy} + \alpha_{kd} + \alpha_{cpl} + \alpha_{at} \text{ (дБ)}, \quad (2.1)$$

де: α – типовий коефіцієнт загасання ВОК в лінії;
 L – довжина лінії;
 α_s – середні втрати на нерознімних з'єднаннях ОВ;
 x – число нерознімних з'єднань;
 α_c – середні втрати на рознімних з'єднаннях;
 y – число рознімних з'єднань;
 $\alpha_{кд}$ – середні втрати на компенсаторі дисперсії;
 $\alpha_{спл}$ – середні втрати на сплітерах (розгалужувачах);
 $\alpha_{ат}$ – середні витрати на атенюаторі.

Дана формула не включає втрати на міжблочних з'єднаннях елементів системи передавання. Загасання лінії є важливим показником для проектування ВОЛЗ, при цьому має бути виділено певний енергетичний запас для майбутнього конфігурування кабелю (додаткові з'єднання, кабельні вставки, вплив старіння, зміна температури тощо).

Ще одним важливим фактором, що визначає припустиму довжину лінії за часовими характеристиками є диференціальна групова затримка (ДГЗ). ДГЗ – різниця в часі двох поляризаційних мод на довжині хвилі в даний момент. Для лінії з конкретним коефіцієнтом PMD диференціальна групова затримка змінюється випадковим образом в залежності від часу та довжини хвилі у вигляді розподілу Максвелла, що містить єдиний параметр, що є добутком коефіцієнту PMD лінії та квадратного кореня від довжини лінії. Погіршення системи через PMD в певний час на певній довжині хвилі залежить від ДГЗ в той же час і на тій самій довжині хвилі. Таким чином, визначається практична межа на розподіл ДГЗ, оскільки вона має відношення до розподілу коефіцієнта PMD ВОК, що в свою чергу вводить обмеження на довжину лінії. Характеристики ДГЗ для одномодових ОВ приведені у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 — Диференціальна групова затримка відповідно до ITU-T G.652

Максимальна $PMD_Q^{(1)}$, (пс/ $\sqrt{км}$)	Протяжність лінії, (км)	Передбачувана диференціальна групова затримка внесена волокном, (пс)	Швидкість передачі двійкової інформації в каналі, (Гбіт/с)
Не специфікується			до 2,5
0,5	400	25,0	10
	40	19,0 ⁽²⁾	10
	2	7,5	40
0,20	3000	19,0	10
	80	7,0	40
0,10	>4000	12,0	10
	400	5,0	40

⁽¹⁾ PMD_Q – Статистичний параметр для лінії з PMD
⁽²⁾ Ця величина застосовується також для систем Ethernet зі швидкістю 10 Гбіт/с

2.2 Багатомодові оптичні волокна

Характеристики багатомодових ОВ визначені в стандарті ІЕС 60793-2-10 [2.5] (ОВ категорії A1a, A1b) та рекомендації ІТУ-Т G.651.1 [2.6]. Конструктивні та передаточні характеристики багатомодових ОВ подано у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Конструктивні і передаточні характеристики багатомодових ОВ

Характеристика		Категорія ОВ		
		ITU-T G.651.1 (07/2007 р.)	IEC 60793-2 A1a	IEC 60793-2 A1b
Діаметр серцевини, мкм		50 ± 3		62,5 ± 3
Діаметр оболонки, мкм		125 ± 2		
Похибка концентричності серцевини/оболонки, мкм		≤ 3		
Некруглість серцевини, %		≤ 6		
Некруглість оболонки, %		≤ 2		
Діаметр захисного покриття, мкм		250 ± 15		
Похибка концентричності оболонки/захисного покриття, мкм		–	≤ 12,5	
Рівень стандартного випробування на стійкість до розриву, ГПа		≥ 0,69		
Максимальний коефіцієнт загасання (на відповідній довжині хвилі λ), дБ/км	λ = 850 нм	3,5	від 2,4 до 3,5	від 2,8 до 3,5
	λ = 1300 нм	1,0	від 0,7 до 1,5	від 0,7 до 1,5
Втрати на макрозгинах на 100 витках діаметром 75 мм, на довжинах хвиль 850 нм та 1300нм, дБ		–	≤0,5	
Втрати на макрозгинах на 2 витках діаметром 15 мм, на довжинах хвиль 850 нм та 1300нм, дБ		≤1	–	
Довжина хвилі нульової дисперсії λ ₀ , нм		λ _{0min} 1295 λ _{0max} 1340	1295 ≤λ ₀ ≤ 1320	1320 ≤λ ₀ ≤ 1365
Крутизна дисперсії на довжині хвилі λ ₀ , пс/(нм ² ·км)		≤0,105 при 1295 ≤λ ₀ ≤ 1310 та ≤ 375·(1590–λ ₀)·10 ⁻⁶ при 1310 ≤λ ₀ ≤ 1340	≤0,001(λ ₀ -1190) при 1295 ≤λ ₀ ≤ 1300 та ≤0,11 при 1300 ≤λ ₀ ≤ 1320	≤0,11 при 1320 ≤λ ₀ ≤ 1348 та ≤0,001 (1458–λ ₀) при 1348 ≤λ ₀ ≤ 1365
Мінімальна величина коефіцієнту широкосмуговості, МГц·км	λ = 850 нм	500	200 ÷ 800	100 ÷ 800
	λ = 1300 нм	500	200 ÷ 1200	200 ÷ 1000
Числова апертура		0,20±0,015	0,20±0,02 або 0,23±0,02	0,275±0,015

Межі коефіцієнту хроматичної дисперсії, значення якої для робочого діапазону довжин хвиль можна визначати за формулою:

$$\frac{\lambda_{S_{0max}}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda_{S_{0max}}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0min}}{\lambda} \right)^4 \right], \text{ пс/км} \quad (2.2)$$

де λ_{0min} , λ_{0max} та S_{0max} визначаються з таблиці 2.4.

2.3 Одномодові оптичні волокна

2.3.1 Характеристики одномодових ОВ з незміщеною дисперсією

Характеристики визначені в стандарті IEC 60793-2-50 [2.7] (категорія B1.1) та рекомендації ITU-T G.652 [2.8]. Рекомендацією G.652 передбачені наступні категорії ОВ:

G.652.A – призначена для підтримування застосування рекомендованих в G.957 [2.9] та G.691 [2.10] апаратури рівня до STM-16, а також Ethernet 10 Гбіт/с (до 40 км) та рекомендованої в G.693 [2.11] апаратури рівня STM-256;

G.652.B – призначена для підтримування застосування високошвидкісної рекомендованої в G.957 [2.9] та G.691 апаратури рівня до STM-64 та рекомендованої в G.693 [2.11] та G.959.1 [2.12] апаратури рівня STM-256;

G.652.C – подібна за характеристиками G.652.A, але дозволяє передавання в розширеному діапазоні довжин хвиль від 1360 нм до 1530 нм;

G.652.D – подібна за характеристиками G.652.B, але дозволяє передавання в розширеному діапазоні довжин хвиль від 1360 нм до 1530 нм.

Конструктивні та передаточні характеристики одномодових ОВ подано у таблиці 2.5.

Значення коефіцієнта загасання, перераховані в цій таблиці не слід застосовувати для коротких кабелів, таких як сполучні кабелі, внутрішні кабелів і відгалужувальних кабелів. Наприклад, [IEC 60794-2-11] визначає коефіцієнт загасання кабелю в приміщенні як 1,0 дБ/км або менше в обох діапазонах 1310 і 1550 нм.

В таблиці 2.5 максимальне значення PMD_Q на волокна зазначено в цілях підтримки вимог по PMD_Q для кабелю.

Діаметр поля моди (ДПМ)₂, мкм, – числова міра для поперечного розміру області в поперечному перерізі оптичного волокна, в котрій розподілена інтенсивність моди оптичного волокна. ДПМ для конкретного оптичного волокна значною мірою залежить від довжини хвилі що передається по волокну.

Занадто маленьке значення ДПМ призводить до втрат оптичної потужності при вводе світла в волокно, а також до труднощів при з'єднанні оптичних волокон. Разом з тим, при великих значеннях ДПМ збільшуються втрати оптичної потужності на згинах оптичного волокна.

Існують різні методики вимірювання діаметру поля моди і відповідні формули для його обчислення. Рекомендація ITU-T G.650.1 наводять формулу при скануванні дальнього поля:

$$2w = \frac{\lambda}{\pi} \left[\frac{2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} F^2(\theta) \sin \theta \cos \theta d\theta}{\int_0^{\frac{\pi}{2}} F^2(\theta) \sin^3 \theta \cos \theta d\theta} \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ мкм} \quad (2.3)$$

де $2w$ – являє собою міру ступеня поперечної інтенсивності електромагнітного поля в поперечному перерізі волокна,

$F^2(\theta)$ – розподіл інтенсивності дальнього поля, а θ – відповідно кут в дальньому полі

Методи вимірювання та розрахункові формули при визначення ДПМ наведені також в стандартах ІЕС, при скануванні дальнього поля використовують метод ІЕС 793-1-С9А (як показано на рисунку 2.5), при скануванні ближнього поля використовують метод ІЕС 793-1-С9С.

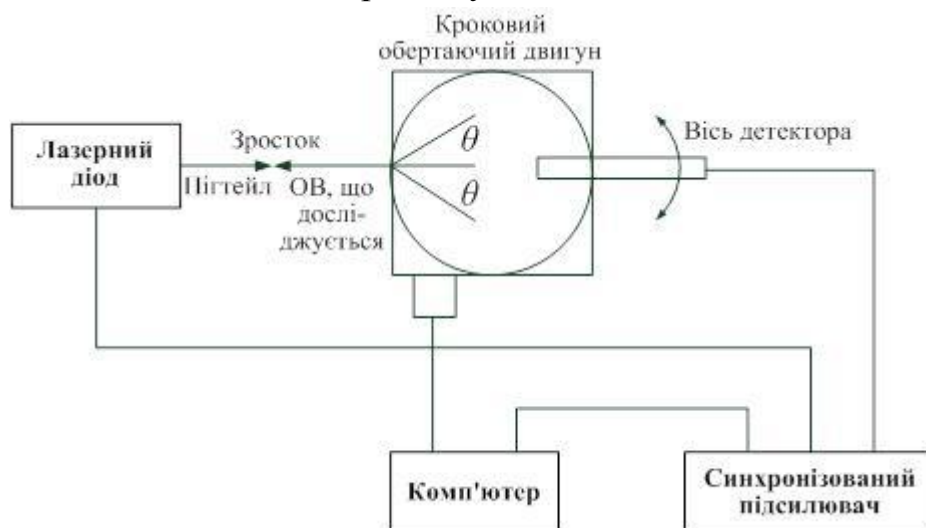


Рисунок 2.5 – Вимірювання ДПМ при скануванні дальнього поля при використанні методу ІЕС 793-1-С9А.

Процедура вимірювання при цьому наступна:

З частини зразка ОВ, довжиною 0,5 м, що вводиться в приймач випромінювання, необхідно видалити первинне покриття (торці зразка мають бути рівними і чистими, а відхилення нормалей торців зразка від осі ОВ повинне не перевищувати 1°).

Положення торця ОВ, у який вводиться світло, має бути узгоджене з напрямком світлового пучка, а положення торця ОВ на виході – з відповідним пристроєм на виході.

Розподіл інтенсивності випромінювання в дальньому полі $F^2(\theta)$ слід вимірювати детектором, що сканує з фіксованим кроком.

Діаметр поля моди обчислюють за формулою 2.3, наведеною вище.

Довжина хвилі зрізу оптичного волокна – найменша довжина хвилі (критична довжина хвилі), більше котрої в оптичному волокні розповсюджується лише основа мода. Існує також поняття довжина хвилі зрізу моди, це найбільша довжина хвилі за котрої у волокні може, розповсюджуватись дана мода. Необхідно відзначити також, що довжина хвилі зрізу волокна більше чим довжина хвилі того ж волокна укладеного в кабелі (на кілька десятків нанометрів), внаслідок пригнічення неосновних мод в оптичному волокні із-за механічного напруження, котре з'являється при виготовленні оптичного кабелю. Величина довжина хвилі зрізу є орієнтиром при забезпеченні одномодового режиму в оптичному волокні в робочому діапазоні довжин хвиль.

Неконцентричність серцевини ОВ (ексцентриситет) – відстань між центром серцевини та центром оболонки.

Поле допуску оболонки – область на поперечному перерізі ОВ між описаним навколо зовнішньої границі оболонки найменшим колом з центром в центрі оболонки та найбільшим колом, концентричним з першим і вписаним в зовнішню границю оболонки.

Некруглість оболонки (сплюснутість) – відношення абсолютної величини різниці значень діаметрів двох кіл, що визначають поле допуску оболонки, до величини діаметра оболонки; виражається у відсотках.

Довжина хвилі нульової дисперсії λ_0 , нм, – довжина хвилі, на якій коефіцієнт хроматичної дисперсії ОВС має нульове значення, нм.

Крутизна дисперсії $S(\lambda)$, пс/(нм²/км), – крутизна характеристики залежності коефіцієнта хроматичної дисперсії ОВС від довжини хвилі λ .

Крутизна нульової дисперсії S_0 , пс/(нм²/км), – значення крутизни дисперсії $S(\lambda)$ на довжині хвилі нульової дисперсії λ_0 .

Для одного і того ж ОВ розрізняють характеристики ОВ і характеристики ОВ у складі оптичного кабелю (ОК):

- характеристики ОВ – це ті технічні параметри та характеристики ОВ, котрі не змінюються після його закладання в ОК та/або після прокладання ОК;
- характеристики ОВ у складі ОК – характеристики ОВ, котрі змінюються після його закладання в ОК та/або після прокладання ОК.

Таблиця 2.5 – Характеристики одномодових ОВ з незміщеною дисперсією

Характеристика			ITU-T G652 (11/2009 p.)			
			A	B (B 1.1)	C (B 1.3)	D (B 1.3)
Діаметр поля моди	Довжина хвилі		1310 нм			
	Діапазон номінальних значень		8,6–9,5 мкм			
	Допуск		±0,6 мкм			
Діаметр оболонки		Номінал	125,0 мкм			
		Допуск	±1 мкм			
Ексцентриситет осердя		Максимум	0,6 мкм			
Сплюснутість оболонки		Максимум	1,0%			
Довжина хвилі зрізу в кабелі		Максимум	1260 нм			
Втрати на макровигині 5)	Радіус		30 мм			
	Число витків		100			
	Максимум на 1550 нм		0,1 дБ	—		
	Максимум на 1625 нм		—	0,1 дБ (0,5) 3)		
Провірочне напруження		Мінімум	0,69 ГПа			
Коефіцієнт хроматичної дисперсії		λ0min	1300 нм			
		λ0max	1324 нм			
		Dmax	—			
		Dmin	—			
		D max– D min	—			
		D1550max	—			
		λmin	—			
		λmax	—			
		S0max	0,092 пс/нм ² км (0,093) 3)			
		S1550max	—			
		Знак	«+»			
Коефіцієнт загасання волокна у складі кабелю	Максимум на 1310 нм		0,5дБ/км	0,4дБ/км	—	
	Максимум на 1310 нм ÷ 1625 нм 1)		—		0,4дБ/км	
	Максимум на 1383 ± 3 нм		—		0,4дБ/км 2)	
	Максимум на 1460 нм		—			
	Максимум на 1550 нм		0,4дБ/км	0,35дБ/км (0,3) 4)	0,3дБ/км	
	Максимум на 1625 нм		—	0,4 дБ/км	—	
Коефіцієнт ПМД		M	20 кабелів			
		Q	0,01%			
		Максимум ПМДQ	0,5 пс/√км	0,20 пс/√км	0,5 пс/√км	0,20 пс/√км

1) – Ця смуга може бути розширена до 1260 нм додаванням до втрат за $\lambda=1310$ нм значення 0,07 дБ/км, що викликане розсіюванням Релея. В цьому випадку довжина хвилі зрізу одномодового волокна в складі кабелю не повинна перевищувати 1250 нм.

2) – Вказане середнє значення загасання на цій довжині хвилі повинно бути не більшим специфікованої на $\lambda=1310$ нм величини, після водневого старіння у відповідності з рекомендацією ІЕС 60793-2-50 волокна категорії В1.3.

3) – В дужках наведені параметри для волокон В1.1 та В1.3 котрі відрізняються від категорій G.652 які наведено в таблиці.

4) – В дужках наведено параметр для волокон В1.1 котрий відрізняється від категорій G.652 В.

5) – Волокна рекомендації G.652 на макровигинах з радіусом 15 мм можуть мати втрати порядку кількох дБ у 10 витках на $\lambda=1625$ нм.

Коефіцієнт загасання прокладеного ВОК залежить від довжини хвилі. Характеристики загасання ОВ, що відповідають G.652 дозволяють застосовувати їх в системах зі спектральних розділенням каналів WDM (xWDM). Спектральні характеристики загасання, отримані при вимірюваннях діючих ВОЛЗ приведені на рисунках 2.6 та 2.7 [2.8].

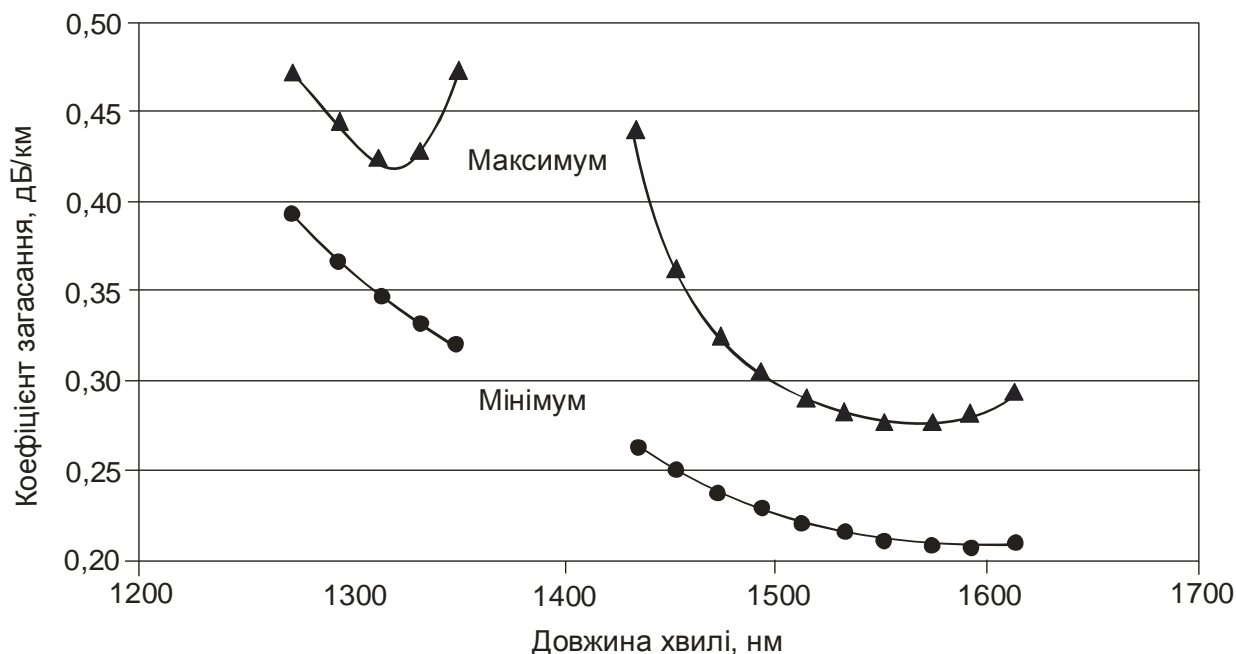


Рисунок 2.6 - Спектральні характеристики загасання ОВ G.652.А та ОВ G.652 В[2.8]

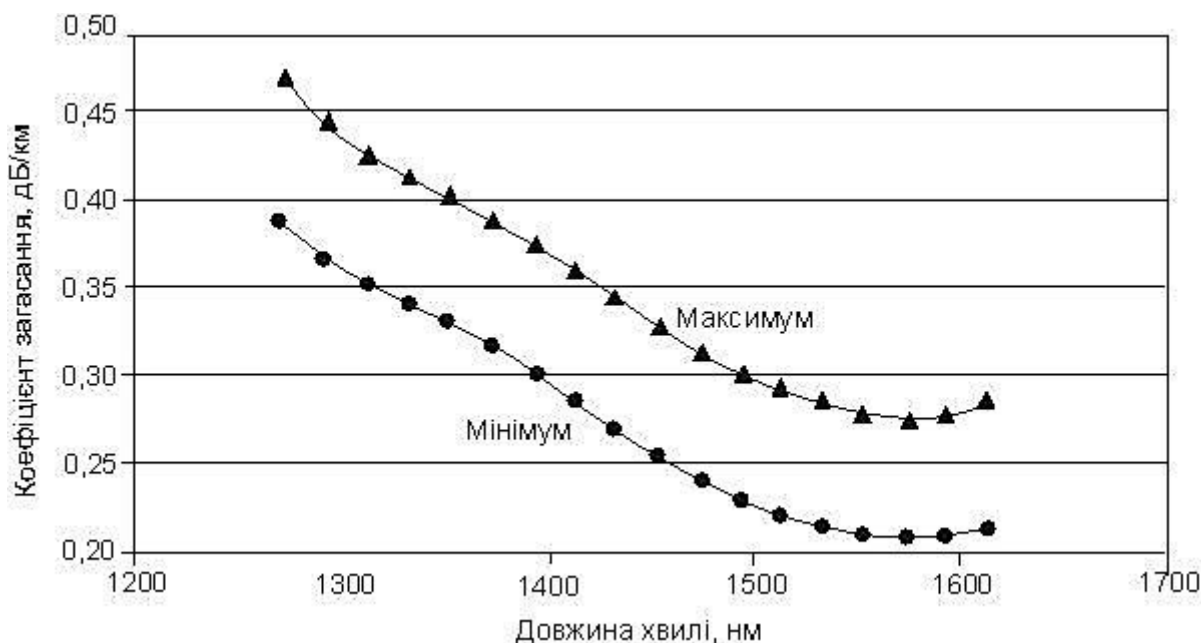


Рисунок 2.7 - Спектральні характеристики загасання ОВ G.652.C та OBG652 D [2.8]

Межі коефіцієнту хроматичної дисперсії, значення якої для робочого діапазону довжин хвиль можна визначати за формулою:

$$\frac{\lambda S_{0max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0min}}{\lambda} \right)^4 \right], \text{ пс/км} \quad (2.4)$$

де $\lambda_{0min} = 1300$ нм, $\lambda_{0max} = 1324$ нм та $S_{0max} = 0,093$ пс/(нм²·км).

Хоча хроматична дисперсія визначається лише для О-смуги (1260÷1360 нм) та С-смуги (1530÷1565 нм), ОВ G.652 також можуть використовуватись для L-смуги (1565÷1625 нм) для систем DWDM, а для систем CWDM в смузі S+C+L (1460÷1625 нм).

Типові значення коефіцієнту загасання ОВ в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Типові характеристики ОВ

Показник	Діапазон довжин хвиль	Типове значення
Коефіцієнт загасання	1260-1360 нм	0,5 дБ/км
	1530-1565 нм	0,275 дБ/км
	1565-1625 нм	0,35 дБ/км
Коефіцієнт хроматичної дисперсії та крутизна нахилу нульової дисперсії	D_{1550}	17 пс/(нм·км)
	S_{1550}	0,056 пс/(нм ² ·км)

Характеристики ДГЗ приведено у таблиці 2.3.

2.3.2 Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною дисперсією

Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною дисперсією визначені в стандарті ІЕС 60793-2-50 [2.7] (категорія В2) та рекомендації ІТУ-Т G.653 [2.13]. Такі ОВ та ВОК мають номінальну робочу довжину хвилі, що має ненульову дисперсію на $\lambda = \sim 1550$ нм та коефіцієнт дисперсії, який рівномірно зростає зі збільшенням довжини хвилі. ОВ оптимізовано для використання на довжинах хвиль $\lambda = \sim 1310$ нм. Рекомендацією G.653 передбачені дві категорії ОВ, призначені для використання в підводних кабелях зв'язку.

ОВ G.653.A – призначено для підтримування застосування рекомендованої в G.691 [2.10], G.692 [2.14], G.693 [2.11], G.957 [2.9] та G.977 [2.15] апаратури (з неоднаковими канальними відстанями) в діапазоні 1500 нм.

ОВ G.653.B – аналогічне категорії ОВ G.653.A, але з більш високими вимогами до PMD, що дозволяє в системах STM-64 відстані понад 400 км та підтримує застосування систем STM-256 рекомендованої в G.959.1 [2.12].

Конструктивні та передаточні характеристики одномодових ОВ зі зміщеною дисперсією подано у таблиці 2.7.

Волокна G.653 не застосовується на багатоканальних WDM системах з рівномірною сіткою частот, де груповий сигнал внаслідок високої потужності викликає значні нелінійні явища, але може бути придатним для WDM систем з нерівномірною сіткою частот.

Значення коефіцієнта загасання, перераховані в таблиці 2.7 не слід застосовувати для коротких кабелів, таких як сполучні кабелі, внутрішні кабелів і відгалужувальних кабелів. Наприклад, [ІЕС 60794-2-11] визначає коефіцієнт загасання кабелю в приміщенні як 1,0 дБ/км або менше в обох діапазонах 1310 і 1550 нм.

В таблиці 2.7 максимальне значення PMD_Q на волокна зазначено в цілях підтримки вимог по PMD_Q для кабелю.

Великі значення PMD_Q (наприклад $\leq 0,5$ пс/ $\sqrt{\text{км}}$) можуть бути узгоджені для конкретних програм між виробником і споживачем.

Таблиця 2.7 – Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною дисперсією

Характеристика		ITU-T G653 (07/2010 р)		IEC 60793-2 B2
		A	B	(B2)
Діаметр поля моди	Довжина хвилі	1550 нм		
	Діапазон номінальних значень	7,8–8,5 мкм		
	Допуск	±0,8 мкм	±0,6 мкм	±0,8 мкм
Діаметр оболонки		Номінал	125,0 мкм	
		Допуск	±1 мкм	
Ексцентриситет осердя	Максимум	0,8 мкм	0,6 мкм	0,8 мкм
Сплюснутість оболонки	Максимум	2,0%	1,0%	2,0%
Довжина хвилі зрізу в кабелі	Максимум	1270 нм		1260 нм
Втрати на макровигині	Радіус	30 мм		37 мм
	Число витків	100		
	Максимум на 1550 нм	0,5 дБ	0,1 дБ	0,5 дБ
Провірочне напруження	Мінімум	0,69 ГПа		
Коефіцієнт хроматичної дисперсії	λ_{0min}	1500 нм	—	1525 нм
	λ_{0max}	1600 нм	—	1575 нм
	D_{max}	3,5 пс/нм км	—	3,0 пс/нм км
	$D_{min}(\lambda)$: 1460-1525 нм	—	$0,085 \cdot (\lambda - 1525) - 3,5$ (пс/нм км)	—
	$D_{min}(\lambda)$: 1525 -1625 нм	—	$3,5/75 \cdot (\lambda - 1600)$ (пс/нм км)	—
	$D_{max}(\lambda)$: 1460-1575 нм	—	$3,5/75 \cdot (\lambda - 1500)$ (пс/нм км)	—
	$D_{max}(\lambda)$: 1575 -1625 нм	—	$0,085 \cdot (\lambda - 1575) + 3,5$ (пс/нм км)	—
	λ_{min}	1525 нм	—	—
	λ_{max}	1575 нм	—	—
	S_{0max}	0,085 пс/нм ² км	—	0,085 пс/нм ² км
	Знак	«+»		
Коефіцієнт загасання волокна у складі кабелю	Максимум на 1310 нм	—		0,5дБ/км
	Максимум на 1550 нм	0,35дБ/км		0,3дБ/км
	Максимум на 1625 нм	—		0,4дБ/км
Коефіцієнт ПМД	M	20 кабелів		—
	Q	0,01%		—
	Максимум ПМДQ	0,5 пс/√км	0,20 пс/√км	—

Межі коефіцієнту хроматичної дисперсії лінії D_{Link} , значення якої для робочого діапазону довжин хвиль можна визначати за формулою:

$$D_{Link}(\lambda) = L_{Link}[S_{0typ}(\lambda - \lambda_{0typ})], \text{ пс/км} \quad (2.5)$$

де λ_{0typ} – довжина хвилі з ненульовою дисперсією λ_{0typ} (наведені з таблиці 2.7);

S_{0typ} – крутизна нахилу дисперсії на довжині хвилі;

L_{Link} – довжина лінії.

Типові значення коефіцієнту загасання ОВ в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Типова характеристики волоконно-оптичної лінії

Показник	Діапазон довжин хвиль	Типове значення
Коефіцієнт загасання	1550 нм	0,275 дБ/км
	1625 нм	досліджується
Довжина хвилі нульової дисперсії та крутизна нахилу нульової дисперсії	λ_{0typ}	1550 нм
	S_{0typ}	0,07 пс/(нм ² ·км)

Характеристики ДГЗ приведено у таблиці 2.3.

2.3.3 Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною довжиною хвилі зрізу

Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною дисперсією та відсічкою визначені в стандарті ІЕС 60793-2-50 [2.7] (категорія В1.2) та рекомендації ІТУ-Т G.654 [2.16]. Ці ОВ мають ненульову дисперсію на довжинах хвиль коло 1300 нм з мінімальним рівнем втрат та зміщеною дисперсією та відсічкою на довжині хвиль коло 1550 нм, і оптимізовані для використання в діапазоні довжин хвиль 1530—1625 нм. Рекомендацією G.654 передбачені три категорії ОВ, що відрізняються основними вимогами на діаметр поля моди, коефіцієнтом хроматичної дисперсії та ПМД. ОВ призначені для забезпечення застосування рекомендованої в G.691 [2.10], G.692 [2.14], G.957 [2.9] та G.977 [2.15] апаратури, що працює в діапазоні довжин хвиль 1550 нм.

Конструктивні та передаточні характеристики одномодових ОВ зі зміщеною довжиною хвилі зрізу подано у таблиці 2.9.

Значення коефіцієнта загасання, перераховані в таблиці 2.9 не слід застосовувати для коротких кабелів, таких як сполучні кабелі, внутрішні кабелів і відгалужувальних кабелів. Наприклад, [ІЕС 60794-2-11] визначає коефіцієнт загасання кабелю в приміщенні як 1,0 дБ/км або менше в обох діапазонах 1310 і 1550 нм.

В таблиці 2.9 максимальне значення PMD_Q на волокна зазначено в цілях підтримки вимог по PMD_Q для кабелю.

Таблиця 2.9 – Характеристики одномодових ОВ зі зміщеною довжиною хвилі зрізу

Характеристика		ITU-T G654 (10/2012 p).			
		A	B (B.1.2) 3)	C	D
Діаметр поля моди	Довжина хвилі	1550 нм			
	Діапазон номінальних значень	9,5–10,5 мкм	9,5–13,0 мкм	9,5–10,5 мкм	11,5–15,0 мкм
	Допуск	±0,7 мкм (0,1 мкм)			
Діаметр оболонки	Номінал	125,0 мкм			
	Допуск	±1 мкм			
Ексцентриситет осердя	Максимум	0,8 мкм			
Сплюснутість оболонки	Максимум	2,0%			
Довжина хвилі зрізу в кабелі	Максимум	1530 нм			
Втрати на макровигині 2)	Радіус	30 мм (37,5 мм)			Визначається
	Число витків	100			Визначається
	Максимум на 1550 нм	—			Визначається
	Максимум на 1625 нм	0,5 дБ			2,0 дБ
Провірочне напруження	Мінімум	0,69 ГПа			0,69 ГПа 1)
Коефіцієнт хроматичної дисперсії	$D_{1550\max}$	20 пс/нм км	22 пс/нм км	20 пс/нм км	23 пс/нм км
	$S_{1550\max}$	0,070 пс/нм ² км			
	Знак	«+»			
Коефіцієнт загасання волокна у складі кабелю/Максимум на 1550 нм		0,22 дБ/км (0,25 дБ/км)			0,20 дБ/км
Коефіцієнт ПМД	M	20 кабелів			
	Q	0,01%			
	Максимум ПМДQ	0,5 пс/ $\sqrt{\text{км}}$	0,20 пс/ $\sqrt{\text{км}}$		

1) – Значення вище цієї величини можуть бути переглянуті для конкретних системних вимог.

2) – Характеристики втрат макроізгинів на довжині хвилі 1550 нм можуть бути корисні в деяких системах. Значення специфікації повинні бути визначені, зокрема, радіус і число витків на вигин.

3) – В дужках наведено параметр для волокон B1.2 котрий відрізняється від категорії G.654 B.

Межі коефіцієнту хроматичної дисперсії лінії D_{Link} , значення якої для робочого діапазону довжин хвиль можна визначати за формулою:

$$D_{\text{Link}}(\lambda) = L_{\text{Link}}[D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)], \text{ пс/км} \quad (2.6)$$

де D_{1550} – типове значення коефіцієнту хроматичної дисперсії на довжині хвилі 1550 нм;

S_{1550} – крутизна нахилу дисперсії на довжині хвилі 1550 нм, (наведені з таблиці 2.9)

L_{Link} – довжина лінії.

Типові значення коефіцієнту загасання ОВ подані в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Типові характеристики ОВ

Показник	Діапазон довжин хвиль	Типове значення
Коефіцієнт загасання	1550 нм	0,25 дБ/км
	1625 нм	досліджується
Параметри хроматичної дисперсії та крутизни нахилу нульової дисперсії	D_{1550}	досліджується
	S_{1550}	досліджується

Характеристики ДГЗ приведено у таблиці 2.3.

2.3.4 Характеристики одномодових ОВ з ненульовою зміщеною дисперсією

Одномодове ОВ з ненульовою зміщеною дисперсією це одномодове ОВ, в якому довжина хвилі нульової хроматичної дисперсії перебуває за межами вікна прозорості.

Характеристики одномодових ОВ з ненульовою зміщеною дисперсією визначені в стандарті ІЕС 60793-2-50 [2.7] (категорія В4) та в рекомендації ІТУ-Т G.655 [2.17]. ОВ мають коефіцієнт хроматичної дисперсії (абсолютне значення), величина якого перевищує певне ненульове значення на довжинах хвиль понад 1530 нм. На більш коротших довжинах хвиль одне із значень коефіцієнту дисперсії може дорівнювати нулю, але значення коефіцієнту хроматичної дисперсії на цих довжинах хвиль можуть бути пристосовані для CWDM систем. Рекомендацією G.655 передбачені наступні категорії ОВ:

ОВ G.655.A – призначено для підтримування застосування рекомендованої в G.691 [2.10], G.692 [2.14], G.693 [2.11] та G.959.1 [2.12] апаратури. Щодо рекомендованої в G.691 апаратури залежно від довжини хвилі каналу та дисперсійної характеристики ОВ, максимальна початкова потужність має бути обмеженою, а типове мінімальне рознесення каналів слід обмежити частотою 200 ГГц;

ОВ G.655.B – призначено для підтримування застосування рекомендованої в G.691[2.10], G.692[2.14], G.693 [2.11] та G.959.1 [2.12] апаратури. Щодо рекомендованої в G.691 апаратури залежно від довжини хвилі каналу та дисперсійної характеристики ОВ, максимальна початкова потужність має бути більшою ніж для попередньої категорії, а типове мінімальне рознесення каналів слід обмежити частотою 100 ГГц або менше. Вимоги щодо

ПМД дозволяють застосовувати системи рівня STM-64 на довжині лінії до 400 км;

ОВ G.655.C – за характеристиками подібне G.655.B, але більш жорсткі вимоги щодо ПМД дозволяють застосовувати системи рівня STM-64 на довжині лінії понад 400 км та системи STM-256, рекомендовані в G.959.1[2.12].

Для волокон підкатегорій G.655.D і G.655.E опис хроматичної дисперсії ґрунтується на парі обмежувальних кривих. Їхній коефіцієнт дисперсії для кожного значення довжини хвилі з діапазону від 1460 нм до 1625 нм обмежений парою ліній, кожна – у вигляді ламаної з двох ланок, $D_{min}(\lambda) \leq D(\lambda) \leq D_{max}(\lambda)$. Ланки ламаної описуються рівняннями різних прямих у діапазонах довжин хвиль від 1460 нм до 1550 нм та від 1550 нм до 1625 нм, відповідно. Для довжин хвиль, більших від 1530 нм, дисперсія додатна і її величина достатня для зниження більшості спотворень сигналу від нелінійних ефектів. Для цих довжин хвиль підтримуються ті самі додатки, що і для волокна G.655.C. Дисперсія волокна підкатегорії G.655.D для довжин хвиль, менших від 1530 нм, може проходити через нуль, але це волокно може використовуватися для підтримки додатків CWDM-систем з каналами 1471 нм і вище, що не мають істотних спотворень, спричинених нелінійними ефектами. Дисперсія волокна підкатегорії G.655.E у діапазоні від 1460 нм до 1625 нм додатна і її величина в певних частинах цього діапазону може бути більшою порівняно з відповідними значеннями дисперсії волокна G.655.D. Це є важливим для деяких WDM-систем, наприклад, для систем з малим рознесенням каналів.

Конструктивні та передаточні характеристики одномодових ОВ зі зміщеною дисперсією подано у таблиці 2.11.

Значення коефіцієнта загасання, перераховані в таблиці 2.11 не слід застосовувати для коротких кабелів, таких як сполучні кабелі, внутрішні кабелів і відгалужувальних кабелів. Наприклад, [IEC 60794-2-11] визначає коефіцієнт загасання кабелю в приміщенні як 1,0 дБ/км або менше в обох діапазонах 1310 і 1550 нм.

В таблиці 2.11 максимальне значення PMD_Q на волокна зазначено в цілях підтримки вимог по PMD_Q для кабелю.

Таблиця 2.11 – Характеристики одномодових ОВ з ненульовою зміщеною дисперсією

Характеристика		ITU-T G655 (11/2009 p.)						
		A	B (B.4) 6)	C	D	E		
Діаметр поля моди	Довжина хвилі		1550 нм					
	Діапазон номінальних значень		8,0–11,0 мкм					
	Допуск		±0,7 мкм			±0,6 мкм		
Діаметр оболонки		Номінал	125,0 мкм					
		Допуск	±1 мкм					
Ексцентриситет осердя		Максимум	0,8 мкм			0,6 мкм		
Сплюснутість оболонки		Максимум	2,0%			1,0%		
Довжина хвилі зрізу в кабелі		Максимум	1450 нм (1480 нм)					
Втрати на макровигині	Радіус		30 мм					
	Число витків		100					
	Максимум на 1550 нм		0,5 дБ	(0,5 дБ) —				
	Максимум на 1625 нм		—	0,5 дБ			0,1 дБ	
Провірочне напруження		Мінімум	0,69 ГПа					
Коефіцієнт хроматичної дисперсії	Dmax		≤6,0 пс/ нм км	≤10,0 пс/ нм км		3)	4)	
	Dmin		≥0,1 пс/ нм км	≥1,0 пс/ нм км		3)	4)	
	D max– D min		—	≤ 0,5 пс/ нм км		—		
	λmin		1530нм1)	1530нм2)		—		
	λmax		1565нм1)	1565нм2)		—		
	Знак		«±»			«+» при λ≥1530	«—»	
Коефіцієнт загасання волокна у складі кабелю	Максимум на 1550 нм		0,35дБ/км	0,35дБ/к (0,30дБ/к)				
	Максимум на 1625 нм		—	0,4 дБ/км				
Коефіцієнт ПМД	M		20 кабелів					
	Q		0,01%					
	Максимум ПМДQ		0,5 пс/√км		0,20 5) пс/√км			

1) – D_{min} не обов'язково відповідає λ_{min} та D_{max} не обов'язково відповідає λ_{max}

2) – Для довжин хвиль від 1565 до 1625 нм величина коефіцієнта хроматичної дисперсії, вивчаються.

3) – Для діапазонів:

$$1460 \div 1550 \text{ нм } D_{\max} = 2,91/90 \cdot (\lambda - 1460) + 3,29 \text{ (пс/нм км)}$$

$$1550 \div 1625 \text{ нм } D_{\max} = 5,06/75 \cdot (\lambda - 1550) + 6,20 \text{ (пс/нм км)}$$

$$1460 \div 1550 \text{ нм } D_{\min} = 7,00/90 \cdot (\lambda - 1460) - 4,20 \text{ (пс/нм км)}$$

$$1550 \div 1625 \text{ нм } D_{\min} = 2,97/75 \cdot (\lambda - 1550) + 2,8 \text{ (пс/нм км)}$$

4) – Для діапазонів:

$$1460 \div 1550 \text{ нм } D_{\max} = 4,65/90 \cdot (\lambda - 1460) + 4,66 \text{ (пс/нм км)}$$

$$1550 \div 1625 \text{ нм } D_{\max} = 4,12/75 \cdot (\lambda - 1550) + 9,31 \text{ (пс/нм км)}$$

$$1460 \div 1550 \text{ нм } D_{\min} = 5,42/90 \cdot (\lambda - 1460) + 0,64 \text{ (пс/нм км)}$$

$$1550 \div 1625 \text{ нм } D_{\min} = 3,30/75 \cdot (\lambda - 1550) + 6,06 \text{ (пс/нм км)}$$

5) – Більші значення ПМД наприклад $\leq 0,5 \text{ пс}/\sqrt{\text{км}}$ може бути узгоджений між виробником та замовником для специфічного застосування.

6) – В дужках наведено параметр для волокон В.4 котрий відрізняється від категорії G.655 В.

Межі коефіцієнту хроматичної дисперсії D_{Link} , значення якої для робочого діапазону довжин хвиль можна визначати за формулою:

$$D_{\text{Link}}(\lambda) = L_{\text{Link}}[D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)], \text{ пс/км} \quad (2.7)$$

де D_{1550} – типове значення коефіцієнту хроматичної дисперсії на довжині хвилі 1500 нм; S_{1550} – крутизна нахилу дисперсії на довжині хвилі 1500 нм, (наведені з таблиці 2.11) та L_{Link} – довжина лінії.

Типові значення коефіцієнту загасання ОВ в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Типова характеристика ОВ

Показник	Діапазон довжин хвиль	Типове значення
Коефіцієнт загасання	1530-1565 нм	0,275 дБ/км
	1565-1625 нм	0,35 дБ/км

Характеристики ДГЗ приведено у таблиці 2.3.

2.3.5 Характеристики одномодових ОВ для широкосмугових транспортних мереж

Характеристики одномодових ОВ для широкосмугового оптичного переносу визначені в рекомендації ITU-T G.656 [2.18]. ОВ мають хроматичну дисперсію, яка перевищує певне ненульове значення у всьому діапазоні довжин хвиль від 1460 нм до 1625 нм, що дозволяє їх застосування в CWDM та DWDM системах зв'язку. Конструктивні та передаточні характеристики одномодових ОВ для широкосмугового оптичного переносу подано у таблиці 2.13.

Значення коефіцієнта загасання, перераховані в таблиці 2.13 не слід застосовувати для коротких кабелів, таких як сполучні кабелі, внутрішні кабелів і відгалужувальних кабелів. Наприклад, [IEC 60794-2-11] визначає

коефіцієнт загасання кабелю в приміщенні як 1,0 дБ/км або менше в обох діапазонах 1310 і 1550 нм.

В таблиці 2.13 максимальне значення PMD_Q на волокна зазначено в цілях підтримки вимог по PMD_Q для кабелю.

Таблиця 2.13 – Характеристики одномодових ОВ для широкосмугових транспортних мереж

Характеристика		ITU-T G.656 (07.2010 р.)
		A (B.5)
Діаметр поля моди	Довжина хвилі	1550 нм
	Діапазон номінальних значень	7,0–11,0 мкм
	Допуск	$\pm 0,7$ мкм
Діаметр оболонки	Номінал	125,0 мкм
	Допуск	± 1 мкм
Ексцентриситет осердя	Максимум	0,8 мкм
Сплюснутість оболонки	Максимум	2,0%
Довжина хвилі зрізу в кабелі	Максимум	1450 нм
Втрати на макровигині	Радіус	30 мм
	Число витків	100
	Максимум на 1550 нм	—
	Максимум на 1625 нм	0,5 дБ
Провірочне напруження	Мінімум	0,69 ГПа
Коефіцієнт хроматичної дисперсії	D_{\max}	1)
	D_{\min}	1)
	λ_{\min}	1460 нм 2)
	λ_{\max}	1625 нм 2)
	Знак	«+»
Коефіцієнт загасання волокна у складі кабелю	Максимум на 1460 нм	0,4 дБ/км
	Максимум на 1550 нм	0,35 дБ/км
	Максимум на 1625 нм	0,4 дБ/км
Коефіцієнт ПМД	M	20 кабелів
	Q	0,01%
	Максимум PMD_Q	0,20 пс/ $\sqrt{\text{км}}$

1) – Для діапазонів:

$$1460 \div 1550 \text{ нм } D_{\max} = 2,60/90 \cdot (\lambda - 1460) + 1,00 \text{ (пс/нм км)};$$

$$1550 \div 1625 \text{ нм } D_{\max} = 0,98/75 \cdot (\lambda - 1550) + 3,60 \text{ (пс/нм км)};$$

$$1460 \div 1550 \text{ нм } D_{\min} = 4,68/90 \cdot (\lambda - 1460) + 4,60 \text{ (пс/нм км)};$$

$$1550 \div 1625 \text{ нм } D_{\min} = 4,72/75 \cdot (\lambda - 1550) + 9,28 \text{ (пс/нм км)}.$$

2) – Якщо Раманівське накачування використовується поза межами вказаного діапазону довжин хвиль, характеристики волокна повинні відповідати забезпеченню накачування.

Межі коефіцієнту хроматичної дисперсії D_{Link} , значення якої для робочого діапазону довжин хвиль можна визначати за формулою:

$$D_{\text{Link}}(\lambda) = L_{\text{Link}}[D_{1550} + S_{1550}(\lambda - 1550)], \text{ пс/км} \quad (2.8)$$

де D_{1550} – типове значення коефіцієнту хроматичної дисперсії на довжині хвилі 1500 нм; S_{1550} – крутизна нахилу дисперсії на довжині хвилі 1500 нм, (наведені з таблиці 2.13) та L_{Link} – довжина лінії.

Типові значення коефіцієнту загасання ОВ в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Типові характеристики ОВ

Показник	Діапазон довжин хвиль	Типове значення
Коефіцієнт загасання	1460-1530 нм	0,35 дБ/км
	1530-1565 нм	0,275 дБ/км
	1565-1625 нм	0,35 дБ/км
Типовий коефіцієнт дисперсії та крутизна нахилу дисперсії	D_{1460}	Досліджується
	D_{1550}	Досліджується
	D_{1625}	Досліджується
	S_{1550}	Досліджується

Характеристики ДГЗ приведено у таблиці 2.3.

2.3.6 Характеристики нечутливих до втрат на згинах одномодових ОВ та кабелів для мереж доступу

Характеристики нечутливих до втрат на згинах одномодових ОВ та кабелів для мереж доступу визначені в рекомендації ITU-T G.657 [2.19].

Волокна котрі відповідають цій рекомендації розроблені спеціально для мереж доступу и роботи у смугах О, Е, S, С тобто у всьому діапазоні від 1260 нм до 1625 нм. Волокна категорій цієї рекомендації є підгрупою волокон рекомендації G.652 D, однак покращені для застосування в умовах мереж доступу (згини, вигини, кручення, підключення).

Рекомендацією G.657 передбачені дві категорії ОВ для використання на мережах доступу, зокрема усередині будівель на кінцевих ділянках цих мереж:

ОВ категорії А призначені для використання в діапазонах О, Е, S, С та L (від 1260 нм до 1625 нм). ОВ та вимоги до них є підмножиною ОВ категорії G.652.D і мають ті ж характеристики передачі та взаємного зв'язку. Головна відміна - це поліпшення втрат на згинах та більш жорсткі конструктивні вимоги для вдосконаленої зв'язності. ОВ субкатегорії G.657.A1 мають мінімальний радіус згину до 10 мм, а субкатегорії G.657.A2 – до 7,5 мм.

ОВ категорії В призначені для передачі в діапазонах 1310 нм, 1550 нм та 1625 нм на обмежені відстані, які пов'язані з перенесенням сигналів, всередині приміщень. Ці ОВ характеризуються іншими, в порівнянні з ОВ G.652, властивостями з'єднання, але допускають дуже малі радіуси згинів. ОВ

субкатегорії G.657.B2 мають мінімальний радіус згину до 7,5 мм, а субкатегорії G.657.B3 – до 5 мм.

Конструктивні та передаточні характеристики одномодових ОВ та кабелів для мереж доступу подано у таблицях 2.15.

Таблиця 2.15 – Характеристики одномодових ОВ категорії А, не чутливих до втрат на макровигинах

Характеристика			ITU-T G657 (10/2012 p.)										
			А (В.6)					В					
Діаметр поля моди	Довжина хвилі		1310 нм										
	Діапазон номінальних значень		8,6–9,5 мкм					6,3–9,5 мкм					
	Допуск		±0,4 мкм										
Діаметр оболонки		Номінал	125,0 мкм										
		Допуск	±0,7 мкм										
Ексцентриситет осердя		Максимум	0,5 мкм										
Сплюснутість оболонки		Максимум	1,0%										
Довжина хвилі зрізу в кабелі		Максимум	1260 нм										
Втрати на макровигині 1, 2)	Радіус (мм)		G657.A1		G657.A2			G657.B2			G657.B3		
			15	10	15	10	7,5	15	10	7,5	10	7,5	5
	Число витків		10	1	10	1	1	10	1	1	1	1	1
	Максимум на 1550 нм (дБ)		0,25	0,75	0,03	0,1	0,5	0,03	0,1	0,5	0,03	0,08	0,15
Максимум на 1625 нм (дБ)		1,0	1,5	0,1	0,2	1,0	0,1	0,2	1,0	0,1	0,25	0,45	
Провірочне напруження		Мінімум	0,69 ГПа										
Коефіцієнт хроматичної дисперсії		λ0min	1300 нм					1250 нм					
		λ0max	1324 нм					1350 нм					
		S0max	0,092 пс/нм ² км					0,11 пс/нм ² км					
		Знак	«+»										
Коефіцієнт загасання волокна у складі кабелю 3, 6)	Максимум на 1310 нм		—					0,5дБ/км					
	Максимум на 1310 нм ÷ 1625 нм 4)		0,4дБ/км										
	Максимум на 1383± 3 нм 5)		0,4дБ/км										
	Максимум на 1550 нм		0,3дБ/км										
	Максимум на 1625 нм		—					0,4дБ/км					
Коефіцієнт ПМД		М	20 кабелів										
		Q	0,01%										
		Максимум ПМДQ	0,20 пс/√км					0,50 пс/√км					

1) – МСЕ-Т G.652 волокна, закручені радіусом 15 мм, як правило можуть мати втрати на макрозгині порядку декількох дБ на 10 витках на 1625 нм.

2) – Втрати на макрозгині можуть бути оцінені з використанням оправки обмотки методом (Метод А (ІЕС 60793-1-47)), замінивши радіус вигину і кількості витків, зазначених у цій таблиці.

Для G.657 В, слід взяти до уваги, що в той час як базові на макрозгині можуть бути встановлені для волокон, однак фактична конструкція кабелю може спричинити зміни цих параметрів. Дослідження в мак розгині в кабелі продовжується, що може призвести до необхідності будь-яких додаткових специфікацій параметрів у майбутньому.

3) – Через відсутність точності у вимірюванні коефіцієнта загасання короткого кабелю, його значення може бути прийнято від початкового довгого кабелю.

4) – Ця області довжин хвиль може бути розширений до 1260 нм шляхом додавання 0,07 дБ/км, індукованих втрат релеєвського розсіювання до значення загасання на довжині хвилі 1310 нм. У цьому випадку, довжина хвилі зрізу кабелю не повинна перевищувати 1250 нм.

5) – Величина коефіцієнту середнього загасання волокна в кабелі на цій довжині хвилі повинна бути менше або дорівнювати максимальному значенню, зазначеному для діапазону, 1310 нм до 1625 нм, після водневого старіння згідно (В-ІЕС 60793-2-50) щодо категорії В1.3

6) – Оператори можуть вирішити, що відповідність категорії G.657.В волокон в спектральних характеристиках і загасанні категорії волокон G.657.А (або МСЕ-Т G.652.Д волокон) необов'язкова в їх (конкретних) мережах. І не може внести системні порушення або проблеми розгортання (незначний вплив на загальну продуктивність системи) при застосуванні цих волокон в кінці мережі доступу.

Вплив різних макрозгинів на ОВ класів А та В G.657 показано на рисунках 2.8 та 2.9.

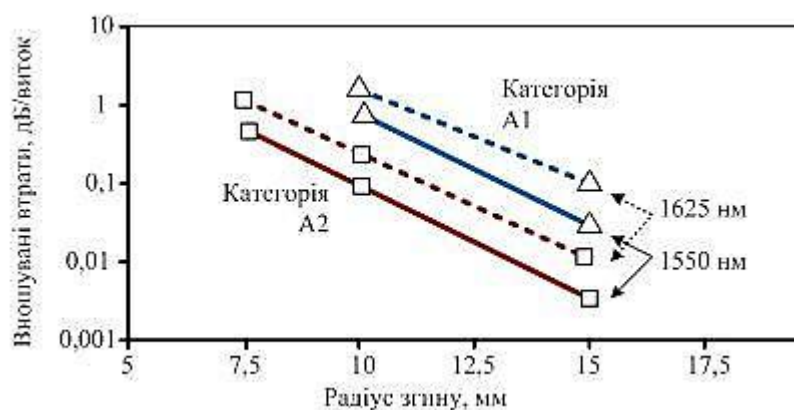


Рисунок 2.8 – Втрати на макрозгинах для ОВ G.657 класу А [2.19]

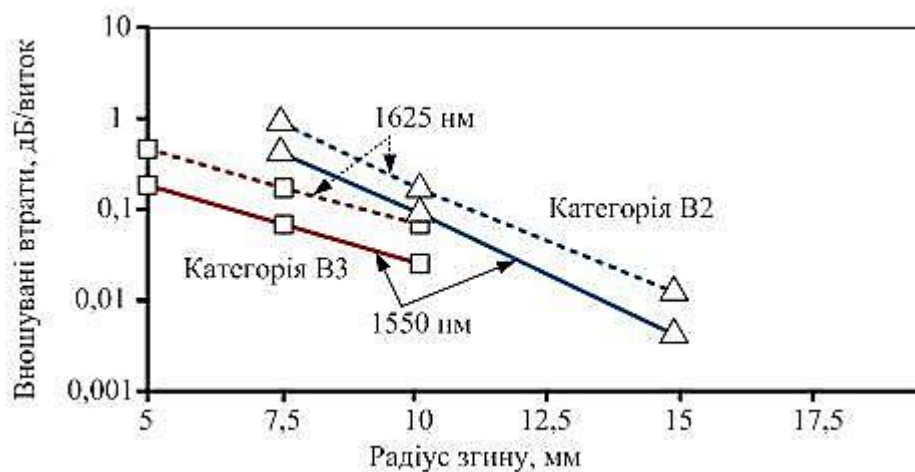


Рисунок 2.9 – Втрати на макрозгинах для ОВ G.657 класу В [2.19]

Межі коефіцієнту хроматичної дисперсії, значення якої для робочого діапазону довжин хвиль можна визначати за формулою:

$$\frac{\lambda S_{0max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0max}}{\lambda} \right)^4 \right] \leq D(\lambda) \leq \frac{\lambda S_{0max}}{4} \left[1 - \left(\frac{\lambda_{0min}}{\lambda} \right)^4 \right], \text{ пс/км} \quad (2.9)$$

де $\lambda_{0min} = 1300 \text{ нм}$,

$\lambda_{0max} = 1324 \text{ нм}$

$S_{0max} = 0,092 \text{ пс}/(\text{нм}^2 \cdot \text{км})$.

2.4 Перспективні напрямки розвитку оптичних волокон

Зростання рівня передавання потужності в ОВ, зростання швидкості передавання по ВОК (в найближчій перспективі до 50-100Тбіт/с і більше) за рахунок збільшення кількості спектральних каналів в діапазоні довжин хвиль від 1300 нм до 1610нм, потребує створення нового покоління ОВ [2.25]. Такі ОВ мають мати великі діаметри серцевини (поля моди) для одномодового режиму, либонь матеріал серцевини має мати низький рівень нелінійності (наприклад, як у повітря). Для вирішення цих проблем було розроблено низку оптичних волокон (рисунок 2.10), таких як мікроструктуроване волокно, волокно на основі фотонних кристалів Photonic Crystal Fibers (PCF) тощо.

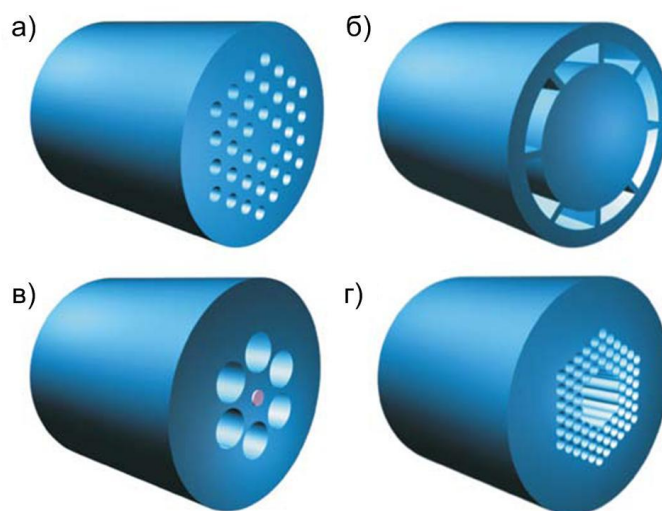


Рисунок 2.10 – Типи порожнистих волокон:(а) одномодове порожнисте волокно, де циліндричні повітряні порожнини розміщуються гексагонально симетрично, а центральна повітряна порожнина відсутня; б) багатомодове волокно в якому в якості зовнішнього шару використовується кільце з повітряних порожнин; в) активне волокно створено з використанням легованого скла (зовнішній шар з повітряних порожнин дозволяє отримати волоконний лазер); г) порожнисте волокно з фотонним кристалом з забороненою зоною [2.26]

На відміну від звичайного ОВ мікроструктуроване оптоволокно виготовляється цілком з однорідного скла. При цьому зовнішній шар з більш низьким показником заломлення замінений на велику кількість циліндричних порожнин, заповнених певним газом або просто повітрям. Технологія виробництва таких волокон була вперше запропонована в 1991 р. Технології досить проста: скляні капіляри відносно великого розміру складаються разом в бажану структуру, яка надалі витягується у оптичне волокно. Геометрія розташування повітряних порожнин визначається початковим розташуванням капілярів. Залежно від того як реалізований механізм повного внутрішнього

відбиття, такі волокна можна розділити на два типи: порожнинні волокна і волокна на фотонних кристалах.

В порожнинних волокнах скляна центральна частина оточена набором циліндричних повітряних порожнин, які знижують ефективний показник заломлення, тим самим забезпечуючи ефект повного внутрішнього відбиття. Оскільки розмір повітряних порожнин і відстань між ними порівнянні з довжиною оптичної хвилі (сотні нанометрів), то й ефективний показник заломлення варіюватиметься в залежності від робочої довжини хвилі. Результатом цього є здатність такого волокна підтримувати одномодовий режим незалежно від довжини хвилі. Такі волокна зазвичай використовуються для передачі високих потужностей світла і володіють низькою нелінійністю.

В оптичному волокні з фотонним кристалом локалізація світла в центрі волокна відбувається за рахунок явища інтерференції на періодичній структурі розміром порівняним з довжиною оптичної хвилі, створеної ґратами циліндричних порожнин – фотонним кристалом. Ідея фотонного кристалу полягає в тому, що в періодичній структурі промені світла, відбиті від областей з різним показником заломлення, інтерферують один з одним, посилюючись або ослаблюючись залежно від співвідношення довжини хвилі і періоду структури. При цьому інтерференція гасить (забороняє поширення) цілого діапазону довжин хвиль (так звана “заборонена зона”). Такі заборонені моди (довжини хвиль) будуть локалізовані в центральній частині волокна на всьому його протязі. У спектральних областях, що відповідають фотонним забороненим зонам, оптична хвиля не поширюватиметься в оболонці, а поширюється лише в серцевині оптичного волокна. Механізми поширення оптичної хвилі в звичайних світлопроводах (повне внутрішнє відбиття) та в світлопроводах на основі фотонних кристалів показано на рис. 2.11.

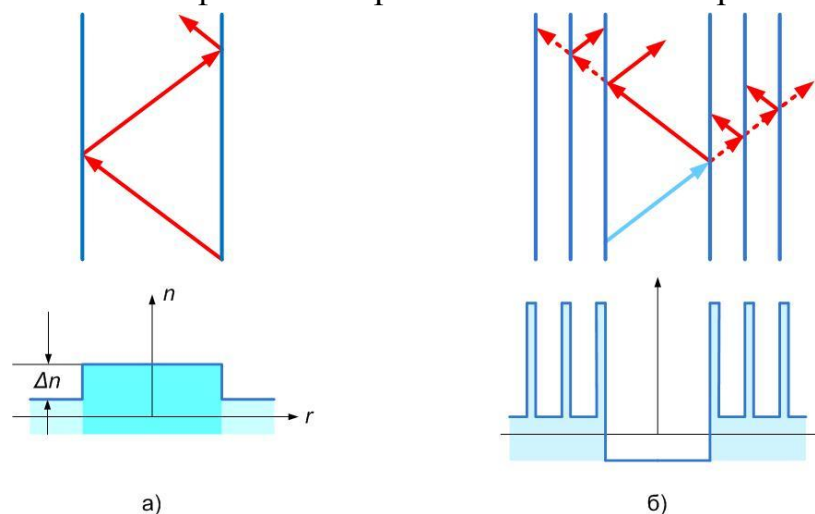


Рисунок 2.11 – Механізм розповсюдження оптичних променів в стандартних (а) ОВ та волокнах на основі фотонних кристалів (б) [2.26]

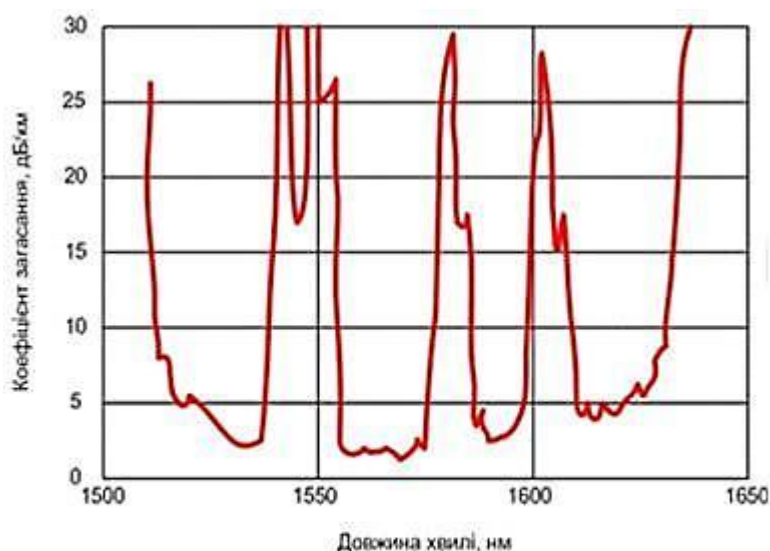


Рисунок 2.12 – Спектральна характеристика оптичних втрат у волокнах з повітряною серцевиною [2.25].

Таким чином відпадає потреба у створенні певної різниці показників заломлення серцевини та оболонки ОВ. Більш того, досить часто використовується порожнисте волокно з фотонним кристалом, де оптична хвиля поширюється всередині повітряної порожнини в центрі волокна. Перевага таких волокон полягає в

нескінченно малій дисперсії, оскільки оптична хвиля поширюється в практично бездисперсійному середовищі – повітрі.

В даний час ОВ з повітряною серцевиною мають мінімальні оптичні втрати на рівні 1,7 дБ/км [2.27]. На рис. 2.12 показаний спектр оптичних втрат такого ОВ. Спектральні області низьких оптичних втрат відповідають фотонним забороненим зонам оболонки.

Найбільш поширеним методом виготовлення волокон на основі фотонних кристалів є виготовлення заготовки із застосуванням тонкостінних капілярів, після чого витягується волокно. Для створення волокна з порожньою серцевиною об'єднують кілька центральних капілярів, виготовлених з легко розчинного скла, після виготовлення заготовки вона промивається в кислому розчині, внаслідок чого виникає порожня серцевина.

Вперше волокно на основі фотонного кристалу було отримано у 1995 р. співробітниками фірми Blaze Photonics, (Англія). Діаметр порожнин, що проходили по всій довжині волокна складав 0,3 мкм, відстань між центрами каналів $2 \div 3$ мкм. В поперечному перерізі волокно мало гексагональну форму, що визначалось структурою укладання капілярів в трубі.

Оптичне волокно, в сучасних волоконно-оптичних системах передач, використовується не лише в якості середовища розповсюдження сигналу в кабелі. Для побудови повністю оптичних мереж використовують волокна, розраховані на вирішення певних специфічних задач для різних оптичних компонентів.. Такі волокна можуть мати певні властивості для вузького, специфічного застосування, наприклад підвищеної радіаційної стійкості (збереження величини коефіцієнта загасання за підвищеного радіаційного впливу), або застосування нових технологій для отримання нових властивостей

волокон (наприклад розроблені технології побудовані на використанні наноструктур, котрі виконують роль дзеркал, в оптичному волокні, що дозволяє зберігати величину втрат у волокні за діаметра згину менше 1 см).

Волокна для оптичних підсилювачів:

Для оптичних підсилювачів використовують спеціальні волокна с різноманітним легуванням (введенням заданих домішок), наприклад ербієві волокна, наприклад з наступним складом осердя волокна $\text{Er}^{3+}\text{Al}_2\text{O}_3/\text{GeO}_2/\text{SiO}_2$. Оскільки накачування відбувається на довжинах хвиль 980 нм або 1480 нм для підсилення в діапазоні окіл 1550 нм то ербієве волокно мусить забезпечувати максимальне поглинання накачки і оптимального підсилення сигналу в заданому діапазоні. Це досягається зі створенням волокон з високою числовою апертурою (порядку $0,23 \div 0,27$). Волокна для накачування волоконних лазерів мають багатомодове осердя діаметром більше 200 мкм і зовнішнім діаметром більше 350 мкм, а також більшу числову апертуру порядку 0,48 або значне загасання порядку 3 дБ/км і більше.

Волокна для оптичних мультиплексорів і демультиплексорів:

Для створення волоконних Бреґівських решіток, котрі є головним компонентом в оптичних мультиплексорах і демультиплексорах використовують фоточутливі волокна, котрі змінюють свій показник заломлення при опроміненні ультрафіолетовим світлом, внаслідок чого сформована таким чином решітка здатна відбивати світло на наперед визначених довжинах хвиль.

Бреґівські волокна:

Бреґівські волокна являють собою волокна, виконані у вигляді багат шарової оболонки, кожен шар котрої має по чергово різний високий і низький показник заломлення. Структура розраховується таким чином, що формуються фотонно-заборонені зони, під дією котрих різні моди мають різні умови розповсюдження, внаслідок чого у волокні, на певній відстані від джерела випромінювання, встановлюється одномодовий режим.

Пластикові (полімерні) оптичні волокна:

Окрім оптичних волокон на основі кварцових стекол, використовуються також оптичні волокна на основі других матеріалів, наприклад пластикові волокна.

Застосування пластикових оптичних волокон (polymer optical fiber - (POF)) є досить перспективним напрямком в таких будівництвах як:

- побудова локальних обчислювальних мереж,
- ділянка горизонтальної розводки СКС,
- мережі що використовують концепцію FTTH.

Такі волокна використовують багатомодовий режим роботи.

Експериментальні зразки полімерних волокон дозволяють передавати інформацію зі швидкістю 10 Гбіт/с на відстань більше 100 м и 40 Гбіт/с на відстань більше 30 м на довжині хвилі 1300 нм.

Апертуру порядку $0,17 \div 0,5$, робочу смугу від 40 МГц до більш чим 3000 МГц і показником заломлення осердя 1,49 та оболонки від 1,42 до 1,46.

В дійсний час використовуються такі полімерні волокна:

- Волокно на основі poly-methyl-meth-acrylate (PMMA) (Поли-Метил-Метанол-Акрилат) з теоретичним мінімумом загасання близько 150 дБ/км на довжині хвилі 650 нм.
- Градієнтне PMMA з більш широкою робочою смугою;
- Перфторполімерні волокна з теоретичним мінімумом загасання близько 10 дБ/км на довжині хвилі 1300 нм;
- Градієнтні фторполімерні волокна з теоретичним мінімумом загасання близько 1 дБ/км на довжині хвилі 1300 нм;

Волокна із полімерів використовуються також при створенні фотонних кристалів и брегівських (багатошарових) волокон.

Пластикові волокна стандартизовані стандартом IEC 60793-2-40 Optical fibres - Part 2-40: Product specification for category A4 multimode fibres, параметри котрих наведені в таблиці 2.16.

В стандарті волокна поділяються на кілька типів в залежності від зовнішнього діаметру, діаметру осердя волокна, величини числової апертури, робочої довжини.

Таблиця 2.16 – Характеристики оптичних вокон категорії A4

Характеристики	Типи і категорії волокон A4							
	A4a	A4b	A4c	A4d	A4e	A4f	A4g	A4h
Діаметр осердя, мкм	Типове значення на $15 \div 35$ мкм менше зовнішнього діаметра				≥ 500	200	120	62,5
Діаметр оболонки, мкм	1000	750	500	1000	750	490	490	245
Числова апертура	0,5 (теоретично)			0,3 (теоретично)	0,25 (теоретично)	0,19 (ефективне виміряне значення)		
Робочі довжини хвиль, нм	650	650	650	650	650	650; 850; 1300	650; 850; 1300	850; 1300

Перші п'ять категорій широко застосовуються у виготовленні сенсорів, автомобільної і цифрової аудіо промисловості.

До переваг полімерних волокон можна віднести:

- легкість монтажу;
- висока температурна стабільність (при підвищенні температури) параметрів волокон;
- низька вартість і доступність джерел випромінювання;
- стійкість до згинів і значно більша тривкість у порівнянні з кварцовими волокнами;
- стійкість до радіаційного впливу;
- низька собівартість виробництва кабелю і оптичних з'єднувачів.

Основні недоліки полімерних волокон в їх високій величині загасання, що зменшує сферу їх застосування.

Перелік посилань до розділу 2

- 2.1 Основні напрямки стандартизації оптичних кабелів зв'язку / Каток В.Б., Ковтун О.С., Руденко І.Е. – Зв'язок, № 4, 2005. – с. 17-22.
- 2.2 Ming_Jun Li. Bend-insensitive optical fibres simplify fiber-to-the home installation – 21 April 2008, SPIE Newsroom. DOI: 10.1117/2.1200803.0966.
- 2.3 В.Б. Каток, А.Н. Ковтун, И.Э. Руденко. Оптика по высшим стандартам / — Сети и телекоммуникации, № 11, 2004. — с. 62-70.
- 2.4 V. Katok, A. Kovtun, I. Rudenko. Fundamental trends of telecommunication optical fiber cables standardization /5th Anniversary Regional Turkey, Caspian & Black Sea Telecommunication & IT Conference and Exhibition. 11-13.04.2006. Istanbul (Turkey). Conference proceeding. P. 198-203.
- 2.5 IEC 60793-2-10 Optical fibres - Part 2: Product specification – Sectional specification for category A1 multimode fibers.
- 2.6 ITU-T Recommendation G.651.1 (07/2007) Characteristics of a 50/125 μm multimode graded index optical fibre cable for the optical access network.
- 2.7 IEC 60793-2-50 Optical fibres - Part 2: Product specification – Sectional specification for category A1 multimode fibers.
- 2.8 ITU-T Recommendation G.652 (11/2009) Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.
- 2.9 ITU-T Recommendation G.957 (10/2009) Optical interfaces for equipments and systems relating to the synchronous digital hierarchy.
- 2.10 ITU-T Recommendation G.691 (03/2006) Optical interfaces for single channel STM-64 and other SDH systems with optical amplifiers.
- 2.11 ITU-T Recommendation G.693 (11/2009) Optical interfaces for intra-office systems.
- 2.12 ITU-T Recommendation G.959.1 (02/2012) Optical transport networks physical layer interfaces.
- 2.13 ITU-T Recommendation G.653 (07/2010) Characteristics of a dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.
- 2.14 ITU-T Recommendation G.692 (10/1998) Optical interfaces for multichannel systems with optical amplifiers.
- 2.15 ITU-T Recommendation G.977 (04/2011) Characteristics of optically amplified optical fibre submarine cable systems.
- 2.16 ITU-T Recommendation G.654 (07/2010) Characteristics of a cut-off shifted single-mode optical fibre and cable.
- 2.17 ITU-T Recommendation G.655 (11/2009) Characteristics of a non-zero dispersion-shifted single-mode optical fibre and cable.
- 2.18 ITU-T Recommendation G.656 (07/2010) Characteristics of a fibre and cable with non-zero dispersion for wideband optical transport.

-
- 2.19 ITU-T Recommendation G.657 (11/2009) Characteristics of a Bending Loss Insensitive Single Mode Optical Fibre and Cable for the Access Network.
- 2.20 Каток В.Б., Котенко О.М., Омецинська О.Б. Вимоги до одномодових світловодів кабелів зв'язку / Зв'язок. -2002. - №3. - С. 15 - 20.
- 2.21 Каток В.Б. Аналіз електродинамічних характеристик волоконних світловодів модифікованим варіаційним методом підвищеної точності / Зв'язок. – 2006.- №4. – С. 11 – 17.
- 2.22 Каток В.Б., Щепкина Е.Д. Новые типы одномодовых градиентных волокон для техники связи / Праці УНДІРТ. – 1996. -№3(7). – С. 69 -74.
- 2.23 Каток В.Б. Оптимизация передаточных характеристик одномодовых оптических световодов путем синтеза / Зв'язок. – 2005. - №6. – С.42 – 46.
- 2.24 Каток В.Б., Омецинська Н.В. Одномодові волоконні світловоди телекомунікацій / Зв'язок. – 2008. - №2. – С.16 – 21.
- 2.25 Дианов Е.М. Волоконная оптика: сорок лет, которые изменили мир / Фотон-экспресс, № 2 (82), март 2010. – с. 32-34.
- 2.26 Латышевская Т. Ю., Новоселов К. С. Нанотехнологии для волоконной оптики / КАБЕЛЬ-news, 2008, № 8. – с. 6-9.
- 2.27 Каток В. Б. Аналіз передавальних характеристик одномодових оптичних волокон мереж зв'язку / Зв'язок. – 2006.- №5.- С.14 – 19.

3. ЗАГАЛЬНІ ВИМОГИ ДО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

3.1 Класифікація волоконно-оптичних кабелів зв'язку

Згідно з ГБН В.2.2-34620942-002:2015 «Лінійно-кабельні споруди телекомунікацій. Проектування.» *Оптичний кабель (ОК) або Волоконно-оптичний кабель (ВОК)* – кабельний виріб, що містить одне або більше оптичних волокон (ОВ) чи пучків ОВ всередині спільної оболонки, поверх якої в залежності від умов експлуатації, може знаходитись відповідне захисне покриття, в тому числі броня, силові та несучі елементи. За необхідності ОК може мати в своєму складі також електричні провідники.

ВОК можуть класифікуватись за різними ознаками: галузь застосування, наявність чи відсутність металевих елементів, кількість та тип ОВ тощо.

ВОК зв'язку традиційно класифікуються за умовами прокладання та експлуатації [3.1]:

- для безпосереднього прокладання в ґрунт;
- для прокладання в каналах кабельної каналізації та тунелях;
- для підвішування на опорах (ЛЕП, ПЛЗ, контактної мережі залізниць);
- для прокладання через водні перешкоди;
- морські;
- внутрішні;
- для абонентської проводки та міжблочних з'єднань.

Ця класифікація визначає механічні характеристики та характеристики стійкості до впливу чинників довкілля [3.2].

Конструкції ВОК досить різноманітні, але як правило вони містять в собі:

- *осердя*, що складається з оптичних волокон та інших елементів котрі знаходяться під першою зовнішньою оболонкою кабелю;
- *силовий елемент*, котрий має приймати на себе повздовжні розтягуючі зусилля прикладені до кабелю. Силовий елемент може бути як в структурі осердя так і самостійно розташований в структурі кабелю;
- *захисні оболонки*, одна або декілька оболонок котрі мають захищати ВОК від різноманітних зовнішніх впливів, а на зовнішній оболонці також міститься інформація про кабель;
- *заповнювачі (гідрофоби, корделі)*, призначені для захисту від потрапляння вологи (при порушенні цілісності зовнішніх захисних оболонок), та заповнення місця в структурі кабелю для утримання потрібної форми осердя та кабелю.

Основними типами конструкції кабельних осердь є:

Модульна – навколо центрального силового елемента розташовані модулі з оптичними волокнами.

Трубчаста – в полімерній або металевій трубці, що розташована в центрі ВОК, розміщені одиночні оптичні волокна, пучки волокон або блоки стрічок волокон.

Профільована – фігурна полімерна або металева структура з пазами для укладання в них одиночних волокон або модулів з волокнами.

3.2 Вимоги до волоконно-оптичних кабелів зв'язку та фактори впливу на конструкції ВОК

Особливості конструкції, а також характеристики – оптичні, механічні та стійкості до впливів довкілля – для ВОК зв'язку визначаються низкою Рекомендацій ІТУ-Т [3.3]:

- ВОК для прокладання в кабельній каналізації та тунелях (Рекомендація ІТУ-Т L.10) [3.4];
- ВОК для підвішування на опорах або повітряного застосування (Рекомендація ІТУ-Т L.26) [3.5];
- ВОК для прокладання в ґрунт (Рекомендація ІТУ-Т L.43) [3.6];
- ВОК для внутрішнього прокладання (Рекомендація ІТУ-Т L.59) [3.7];
- маловолоконні ВОК для внутрішнього прокладання (Рекомендація ІТУ-Т L.67) [3.8];
- ВОК для прокладання в трубах водостічної каналізації (Рекомендація ІТУ-Т L.78) [3.9];
- ВОК для абонентської проводки (Рекомендації ІТУ-Т L.87) [3.10].

Усі Рекомендації ІТУ-Т гармонізовані з чинними стандартами ІЕС [3.11]. Система стандартів ІЕС по ВОК показана на рисунку 3.1.

Оптичні та передавальні характеристики ВОК визначаються характеристиками ОВ які в них застосовуються.

Механічні характеристики ВОК залежать від їх призначення та умов експлуатації. Зазвичай ВОК мають бути стійкими до: згинів, розтягувальних зусиль, роздавлювань, ударів та осьових закручувань [3.12].

Згини – це наслідки динамічних режимів, що виникають в процесі прокладання, в результаті чого ОВ можуть піддаватись деформації через згинання кабелю. Силкові елементи та радіус вигину кабелю під час прокладання мають вибиратись такими, щоб обмежувати ці динамічні деформації. Після прокладання кабелю осі усіх ОВ повинні мати радіуси вигину значно більші за мінімальний, що забезпечує дозволений рівень втрат на

макрівигинах або гарантований термін служби, обмежений механічною втомою.

Короткострокові розтягувальні зусилля виникають в процесі виробництва та прокладання, і можуть викликати постійні та/або періодичні навантаження на ОВ протягом всього терміну експлуатації (наприклад, через зміни температури). Зміна розтягувального зусилля кабелю через зміну впливу чинників довкілля протягом терміну експлуатації може викликати різноманітні переміщення кабельних елементів. Надмірне розтягувальне зусилля призводить до зростання оптичних втрат та може спричинити залишкове розтягувальне зусилля ОВ. Запобігати цьому слід ще на етапі проектування, шляхом вибору ВОК з певним дозволим розтягувальним зусиллям та контролем розтягувального зусилля в процесі прокладання.

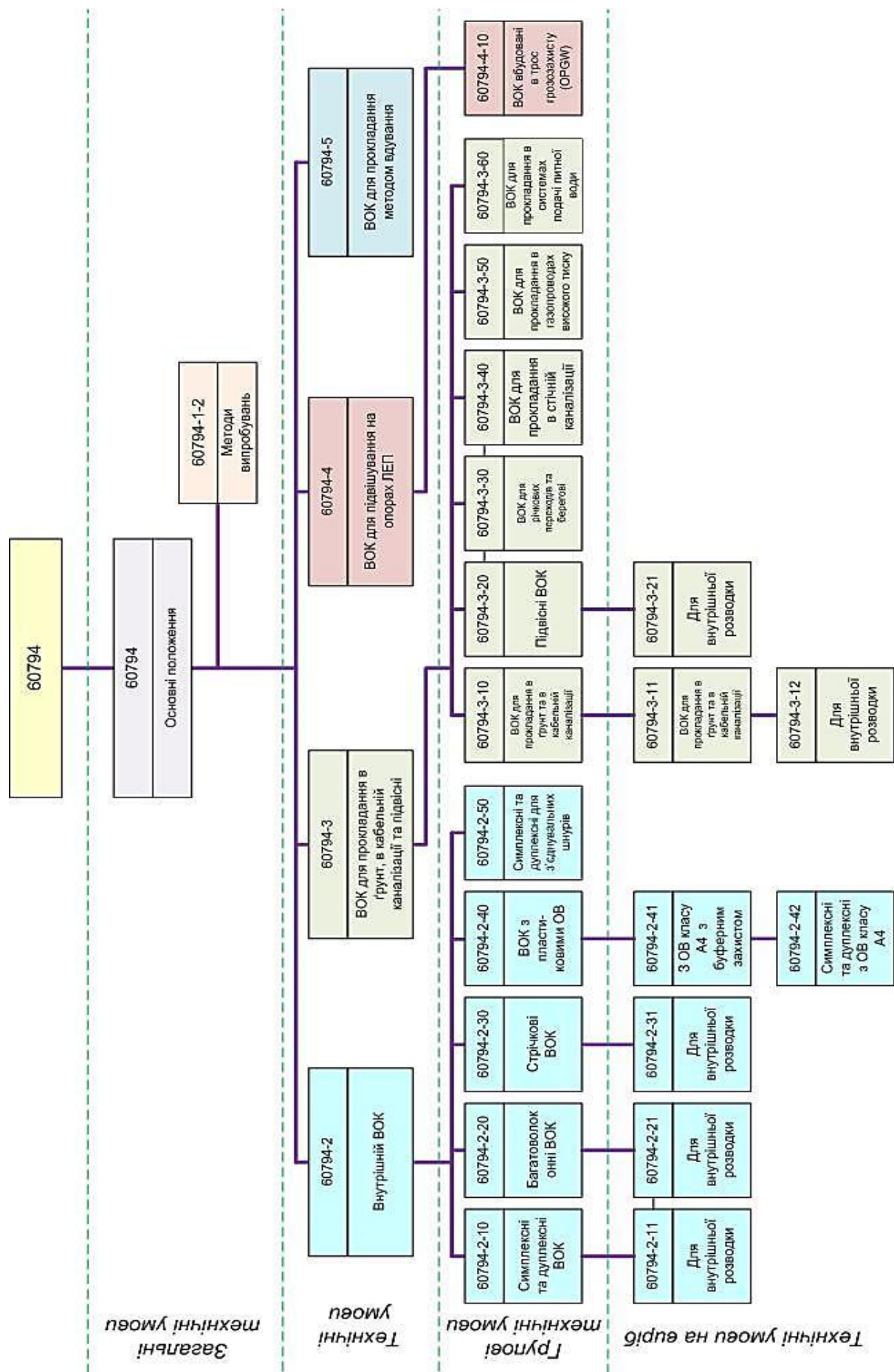


Рисунок 3.1 — Система стандартів ІЕС по ВОК

Постійні розтягувальні зусилля можуть існувати протягом усього терміну служби кабелю. Це характерно для ВОК, що підвішуються на опорах. Розтягувальні зусилля на ОВ можуть бути викликані розтягуванням, осьовим закручуванням, згином та наявним провисанням між затискачами під власною вагою кабелю, способом прокладання та/або методом підвішування та/або умовами довкілля, такими як вітер, ожеледь, температура. Тому при проектуванні повітряних кабельних ліній слід враховувати максимальне дозволене розтягувальне зусилля, номінальну межу міцності та запас навантаження на ВОК. Якщо кабель піддається тривалому розтягувальному зусиллю протягом усього терміну служби бажано, щоб ОВ не зазнавало додаткових видовжень.

Роздавлювання та удари можуть виникати як в процесі прокладання, так і в процесі технічної експлуатації ВОК. Вони можуть викликати постійне або тимчасове зростання оптичних втрат та/або втрату оптичної цілісності ОВ. ВОК для підвішування на опорах мають протидіяти роздавлюванню без додаткових оптичних втрат.

Закручування виникає внаслідок динамічних навантажень в процесах прокладання і технічної експлуатації ВОК. В результаті цього можуть виникнути залишкові навантаження на ОВ та/або пошкодження захисних покриттів ВОК. Якщо такі випадки мають місце, конструкція кабелю має витримувати певну кількість осьових закручувань на одиницю довжини без зростання втрат в ОВ та/або пошкодження оболонки. Максимальне залишкове навантаження ОВ через осьове закручування, розтягування та згин кабелю певною мірою визначають термін служби ВОК.

ВОК для прокладання безпосередньо в ґрунт в процесі транспортування, прокладання та технічної експлуатації може піддаватись механічному впливу. Слід пам'ятати, що кабель, прокладений безпосередньо в ґрунт менш захищений ніж кабель, що лежить в захисних трубах. Перш за все слід дотримуватись вимог щодо ударів, згинів, осьових закручувань, роздавлювання та дозволених радіусів вигинів ВОК. Певні критерії або визначені умови мають бути узгоджені між користувачем та постачальником.

Щодо стійкості до впливу чинників довкілля, ВОК зв'язку мають бути стійкими до: утворення водню, проникнення та розповсюдження вологи, вібрації, зміни температури тощо.

Утворення водню виникає як результат впливу вологи на металеві елементи кабелю. Водень може проникати до ОВ і спричинювати зростання оптичних втрат. Тому слід забезпечувати достатньо низьку концентрацію водню в кабелі, щоб гарантувати відсутність зростання оптичних втрат протягом всього терміну служби кабелю. Низький рівень водню в ВОК

досягається шляхом застосування в конструкції кабелю водневопоглинаючих матеріалів та гідрофобних наповнювачів.

Проникнення вологи призводить до зменшення межі міцності та середнього часу статичного старіння матеріалів ОВ. Для захисту від проникнення вологи застосовуються різноманітні матеріали, такі як бар'єри (наприклад, накладення алюмінієвої фольги з перекриттям). Безперервні металеві бар'єри добре захищають від радіального проникнення вологи. Для запобігання поздовжньому розповсюдженню вологи в ВОК застосовуються різні гідрофобні компаунди або водоблокуючі матеріали (стрічки, обмотки тощо). Вода в кабелі може замерзнути, а в деяких випадках може викликати роздавлювання ОВ і, як наслідок, спричинити погіршення передаточних характеристик та втрату оптичної цілісності. У випадку застосування підвісних кабелів вологість не становить істотних проблем.

Найбільш вразливими до ударів блискавки є ВОК, що містять у своєму складі металеві елементи, такі як мідні дроти або металеві оболонки.

Механічний удар та енергія, що розсіюється при ударі блискавки, може призвести до руйнації захисного покриття ВОК та ОВ в ньому. Проблеми захисту ВОК від ударів блискавки слід вирішувати на етапі проектування волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) виходячи з положень Рекомендації ITU-T K.47 [3.13]. Класифікація кабелів по стійкості до ударів блискавки подана у таблиці 3.1.

У випадку застосування повністю діелектричних кабелів слід прийняти заходи по їх захисту від гризунів. Заходом, що значно знижує ризик пошкодження ВОК ударом блискавки та гризунами є прокладання повністю діелектричних ВОК в захисних пластмасових трубах.

Таблиця 3.1 — Категорії ВОК по стійкості до удару блискавки

ВОК на які струм блискавки не впливає	Категорія стійкості до блискавки при імпульсному струмі розтікання, кА			
	I	II	III	IV
	Більше 105	Від 80 до 105	Від 55 до 80	Менше 50
Повністю діелектричні ВОК	Діелектричний центральний силовий елемент			Металевий центральний силовий елемент
	Без дротів дистанційного живлення		З дротами дистанційного живлення	З дротами дистанційного живлення або без них
	Поліетиле-нова оболонка, сталева броня, поліетилен-новий шланг	Алюмополі-етиленова оболонка, сталева броня, поліетилен-новий шланг	Поліетиленова або алюмополіетиленова оболонка, сталева броня, поліетиленовий шланг	

Біологічні пошкодження виникають внаслідок малих розмірів ВОК, що робить їх вразливими до нападів гризунів. Види біологічних нападів та заходи захисту від них кабелів зв'язку описані в Рекомендації L.46 [3.14].

Кабелі зв'язку можуть зазнати пошкодження через біологічні чинники, з яких деякі можуть бути обмеженими специфікою довкілля. Тому винесення кабелю з цих районів вже є захистом від певного біологічного нападу.

Пошкодження кабелів зв'язку через біологічний напад можуть бути спричинені:

- ссавцями (білками, мишами, крсами, кртами, землерийками та іншими гризунами та іншими, особливо тими котрі облаштовують собі нори);
- птахами, подібними до дятлів та какаду;
- комахами типу термітів, мурах, жуків, ос та гусениць;
- мікроорганізмами, подібними до бактерій, грибків та (або) плісняви.

Тип пошкодження залежить від виду біологічного нападу. Ссавці (наприклад білки, крси, миші та землерийки) спричиняють нерегулярні отвори з вертикальними зазубринами від різців (рисунок 3.1). Кроти спричиняють сферичні або циліндричні отвори з гладкими стінками. Досить часто в отворі можна знайти й саму тварину.



Рисунок 3.1 — Мишачі зуби — найстрашніший ворог кабелів на території України [3.15]

Терміти та мурахи утворюють нерегулярні отвори, які можуть розповсюджуватись по всьому перерізу. Їх можна побачити навіть після зняття пошкодженої оболонки. Такий зовнішній вигляд є типовим для гризучих термітів, тому що вони риють та піднімають своїми короткими широкими нижніми мандибулами (щелепами). Сліди подряпин та поперечні подряпини характерні для мурах, які мають довгі гострі нижні мандибули, і завдають шкоди рухомими різучими діями. На ранніх стадіях напад характеризується локальними концентраціями чисельних окремих малих отворів.

Мурахи та терміти можуть виділяти кислу секрецію, яка може спричинити корозію.

Жуки, личинки та інші комахи спричиняють горизонтальні ризики від мандибул різних форм на гранях отворів. Круглі отвори є типовими для личинок та жуків. В залежності від кута проникнення в оболонку, вони можуть виглядати круглими або видовженими з шириною, рівною діаметру отвору.

Нерегулярні відкуси дзьобом на краю та навколо нерегулярних отворів є ознакою пошкодження птахами.

Щипавки, павуки, та інші комахи, а також тварини часто проникають в з'єднувальні улаштування та інші відкриті об'єкти. Якщо вентиляційні отвори є досить великими, в коробах можуть бути знайдені гнізда птахів, білок та мишей. Завали, які ці тварини утворюють своїми екскрементами, також вносять внесок у пошкодження ізоляції з'єднувачів та кінцевого обладнання.

Мікроорганізми спричиняють погіршення механічних властивостей волокон целюлози та еластичних полімерів.

Локальні осередки розпушуючої корозії можуть бути викликані щільними контактами молюсків, які таким чином висмоктують кисень. Ці осередки можуть бути результатом бактеріального метаболізму в забрудненому довкіллі.

Приклади специфічного довкілля та типу біологічного нападу, виявленого в них, приведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Типове довкілля для шкідників

Довкілля	Шкідники
Місця видобування каучуку	Комахи
Лоза, області вичистки дубів та старі дерева	Жуки
Зближення мереж зв'язку з рослинами (овочевими), кабельні барабани, опори, дерев'яні відходи, бамбук, коріння	Комахи та личинки
Сухе гниюче коріння дерев та дерев'яні відходи	Терміти
Над землею; до 1,5 м в твердому ґрунті; більш глибоко в м'якому ґрунті	Мурахи, гризуни
Забруднені ґрунти та вода, що створюють анаеробні умови	Бактеріологічний метаболізм
Повітряне	Білки та птахи

Там, де неможливо перенести мережу, усунути шкідників (таких як комахи та гризуни) можна шляхом застосуванням хімікалій або отрути.

Слід зазначити, що трохи хімікалій та отрути корисні як контрзаходи від біологічного нападу, але вони іноді можуть бути небезпечними для людей та викликати екологічне забруднення.

Дешиця хімікалій корисна як захід залякування. Ці хімікалії не працюють як отрута, але вони відлякують шкідників. Наприклад, на поверхню кабелю розпиляють трохи хімікалій, що залишають специфічний запах, як захід залякування.

Вибір іншого способу захисту повинен відгородити мережу за допомогою захисних матеріалів (оболонки), щоб запобігти доступу шкідників. Приклади шляхів захисту від доступу шкідників подано у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 — Зовнішні міри захисту від шкідників

Захід (дія)	Шкідник
Застосування екранів поверх вентиляційних отворів	Білки, гризуни та птахи
Сталева сітка (обплетення) поверх кабелю	Білки
Ущільнення стиків з'єднувальних пристроїв, блокування смолою (епоксидною), заливка малих коробок	Мурахи, комахи, жуки
Ущільнення ґрунту навколо кабелю та муфти	Мурахи та комахи
Прокладання кабелю в захисних трубах малого діаметру	Гризуни, мурахи та комахи
Бар'єр із гальванізованого заліза навколо кабелів для відділення від ґрунту	Гризуни, мурахи та комахи
Хімічні репеленти, що розпиляються на мережі зв'язку або навколо неї	Комахи, павуки та оси
Закриття / відновлення пошкодженої каналізації	Криси

Кабелі з оболонками із ПЕ, ПВХ, неопрена та інших полімерів піддаються біологічним атакам. Приклади кабельних конструкцій з рекомендованими способами захисту подано у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 — Конструкції кабелів для захисту від нападу шкідників

Захист	Шкідник
Сталеві дроти, скловолокно або арамідні нитки	Білки та гризуни
Сталеві оболонки або сталева ламінована стрічка	Птахи
Поліамідна оболонка	Мурахи та терміти
Сталева або латунна стрічка	Птахи (дятли) та терміти
Сталеві стрічки (0,2 мм) з бітумним складом	Контакт з рослинами, що зазнають нападу жуків та личинок

Алюмінієва стрічка є обмеженим захистом від біологічних атак, особливо тонка фольга (наприклад, 0,1 мм), тому товщину алюмінієвої стрічки слід обирати ретельно.

Кабелі, армовані сталлю та (або) діелектриком типу скловолокна дають захист лише до тих пір, доки армування не пошкоджене. Неоднорідності броні призводять до пошкодження від жуків та личинок. Розкриття сталевої броні можуть виникнути через дефекти з'єднань та недбалий ремонт, утворення зморщків, механічних пошкоджень або через корозію.

Вібрація виникає у випадках прокладання ВОК по мостах. Внаслідок вібрації кабель може піддаватись впливу різноманітних низькочастотних коливань з відносно високою амплітудою. Кабелі повинні протидіяти цим коливанням без деградації передавальних характеристик. Вібрації можуть піддаватись й ВОК, прокладені в ґрунт та в кабельній каналізації, якщо траса лінії проходить поблизу залізниць, кар'єрів та виробничих приміщень. У

випадках підвісних ВОК вібрація може виникнути під впливом будь якого ламінарного вітрового потоку, через завихрення з підвітряної сторони (еолова вібрація) або зміни напрямку вітру відносно кабельної осі (галопування). Основний метод захисту має вибиратись ще на етапі проектування, шляхом вибору траси лінії та методу прокладання.

При прокладанні ВОК в середині приміщень вібрація може виникати через наявність в будинках різних коливань, які викликані конструкціями, електрогенераторами, ліфтами тощо. Зазвичай елементи кабелів зв'язані між собою тертям. Коливання можуть викликати зменшення цього тертя і, як наслідок, елементи кабелю можуть переміщатись, спричиняючи при цьому погіршення передаточних або механічних характеристик кабелю. Це особливо небезпечно при вертикальному розміщенні ВОК. Тому кабелі мають витримувати такі коливання без погіршення передавальних характеристик. Захист має здійснюватись шляхом вибору методу прокладання.

Зміни температури виникають протягом усього терміну служби ВОК як результат сезонних температурних циклів. Зміна температури викликає різноманітні зміни розмірів кожного елементу кабелю. Оскільки вони мають різні коефіцієнти температурного розширення, їх розкид може сягати 100 разів між самим низьким та самим високим значеннями. Ці відмінності можуть викликати зростання оптичних втрат через утворення мікро- та макровигинів ОВ. Тому, ще на етапі проектування, при виборі кабелю слід враховувати кліматичні особливості місцевості. Підвісні кабелі сильніше піддаються температурним змінам порівняно з підземними кабелями. Лінійне розширення кабелю через зростання температури може істотно скоротити висоту допустимого зазору між кабелем і землею. Усадка кабелю через зниження температури може викликати перевищення дозволених розтягуючих зусиль. Для заданих умов експлуатації зміна передаточних характеристик ВОК не повинна перевищувати визначену норму.

В підвісних кабелях вітер може викликати напруження ОВ через додаткові розтягуючі зусилля, осьові закручування та вібрацію. Викликане таким чином динамічне та залишкове напруження ОВ може спричинити втрату оптичної неперервності через перевищення межі тривалого напруження волокна. Для зменшення будь-якого напруження ОВ через тиск вітру, силовий елемент має бути вибраний таким чином, щоб обмежити це напруження до безпечного рівня, а конструкція кабелю має механічно відокремлювати ОВ від оболонок, щоб мінімізувати напруження. Як альтернатива, ВОК може підмотуватись (підв'язуватись) до високоміцного підтримуючого елемента.

У випадку підвісних ВОК вітер може викликати вібрацію кабелів, а при застосуванні кабелів "типу вісімки" та підв'язуваних до несучого елемента —

галопування. В цих випадках конструкція кабелю та/або метод прокладання мають забезпечувати стабільність передавальних і механічних характеристик. Метод підвішування має мінімізувати вплив вітру.

Підвісні ВОК мають бути стійкі до снігу та льоду. *Сніг* та *лід* можуть спричинити напруження в ОВ через зростання маси кабелю від налипання снігу та/або утворення льоду навколо кабелю. Напруження ОВ може викликати зростання оптичних втрат, а у випадку перевищення межі міцності волокна й втрату оптичної цілісності (мікротріщини, розриви). Динамічне напруження ОВ може виникнути через вібрацію, викликану падінням снігу та/або льоду з кабелю. Це також може спричинити втрату оптичної цілісності. Надмірне напруження ОВ може бути викликане зростанням повітряного тиску на навантажений снігом та/або льодом кабель. Для зменшення напруження ОВ через сніг та/або лід, слід так вибирати ВОК, щоб силові елементи обмежували напруження в ОВ безпечними рівнями, а кабель мав переріз, який мінімізував би налипання снігу. Як альтернатива, може застосовуватись ВОК, що підмотується (підв'язується) до високоміцного підтримуючого елемента. Кабель повинен мати таку конструкцію і прокладатись таким чином, щоб забезпечувати стабільність передавальних характеристик, провису/натягу, втоми силового елемента та навантаження на башту/опору.

Потужні електричні поля можуть викликати утворення коронних і дугових розрядів та трекінг-ефектів на оболонках навіть повністю діелектричних кабелів у разі їх застосування на високовольтних лініях електропередачі (ЛЕП).

Через контакт ВОК прокладених безпосередньо в ґрунт з різноманітними хімічними речовинами може виникати *хімічна корозія*. Вона призводить до погіршення якості захисних покриттів і, як наслідок, ослаблення захисту кабельного осердя. Для запобігання можливої хімічної корозії, матеріал оболонки кабелю має бути стійким до дії різноманітних хімічних речовин. Тому, ще на етапі проектування слід детально оцінити, які саме хімічні речовини мають місце вздовж траси проектованої кабельної лінії, особливо на ділянках, де кабель має прокладатись безпосередньо в ґрунт. Після цього слід дослідити вплив цих речовин на матеріал кабельної оболонки.

Вплив *полум'я* може виникнути у випадку виникнення пожеж у тунелях. Тому ВОК для тунелів повинні мати оболонки, що не розповсюджують горіння. ВОК для тунелів мають відповідати вимогам відповідних національних, галузевих або відомчих нормативних документів щодо пожежної безпеки.

Пожежна безпека – одна з найважливіших проблем будівель та будинків. Існує дві головні проблеми. По-перше, кабелі та кабельні елементи мають не підтримувати горіння. Іншими словами, кабелі та кабельні елементи повинні

бути вогнестійкими. По-друге, кабелі та кабельні елементи при горінні не повинні виділяти отруйні гази та дим. ВОК для внутрішньої прокладки мають відповідати вимогам відповідних національних, галузевих або відомчих нормативних документів щодо пожежної безпеки.

За потреби ВОК може містити мідні провідники. В залежності від наявності тих чи інших елементів ВОК розділяються на три типи [3.16], розглянуті в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 — Типи ВОК по наявності металевих елементів

Тип кабелю	ОВ	Мідні провідники для телекомунікацій	Мідні провідники для електроживлення	Призначення
Тип I	є	є	немає	Для оптичної та електричної передачі аналогових та/або цифрових сигналів.
Тип II	є	немає	є	Для оптичної передачі та організації дистанційного живлення.
Тип III	є	є	є	Для оптичної та електричної передачі аналогових та/або цифрових сигналів з організацією дистанційного живлення.

Зведені вимоги до ВОК подані у таблиці 3.6 [3.17].

Таблиця 3.6 Вимоги до ВОК

Характер вимог	ВОК для прокладання в кабельній каналізації (L.10)	ВОК для прокладання безпосередньо в ґрунт (L.43)	ВОК для підвищення на опорах (L.26)	ВОК для прокладання в трубах водостічної каналізації (L.78)	ВОК для внутрішнього прокладання (L.59)	Маловолоконні ВОК для внутрішнього прокладання (L.67)	ВОК для міжблочних переключень (L.87)
Електромагнітні поля	—	—	При прокладанні ВОК вздовж ЛЕП	—	—	—	—
Оптичні та передавальні характеристики	Згідно з Рекомендаціями G.651.1—G.657						
	Характеристики стійкості до механічного впливу						
Згини	+	+	+	+	+	+	+
Розтяг:							
- коротко терміновий	+	+	+	+	+	+	+
- постійний	—	—	+	+	—	—	—
Роздавлювання та удар	+	+	+	+	+	+	+
Закручування	+	+	+	+	+	+	+
	Характеристики стійкості до впливу чинників довкілля						
Утворення водню	+	+	+	+	—	—	—
Проникнення вологи	+	+	—	+	—	—	—
Удар блискавки	+	+	+	—	—	—	—
Біологічні пошкодження	+	+	+	+	+	+	+
Вібрація	+	+	+	—	+	+	+
Зміна температури	+	+	+	+	+	—	—
Вітер	—	—	+	—	—	—	—
Сніг та лід	—	—	+	—	—	—	—

3.3 Конструктивні особливості волоконно-оптичних кабелів

ОВ з кварцового скла достатньо міцні, але міцність може значно зменшуватись через недоліки поверхонь. Тому безпосередньо на поверхню ОВ мають бути нанесені первинні захисні покриття. Перевірка якості ОВ проводиться шляхом його перемотування з одночасним прикладанням розтягуючого зусилля (пруф-тест). Таке випробування проводиться з прикладанням допустимого протягом усього терміну служби ОВ розтягуючого зусилля.

Первинне захисне покриття повинно легко видалятися без пошкодження ОВ для проведення процедур з'єднання будівельних довжин ВОК.

Вторинне захисне покриття накладається поверх первинного, внаслідок чого утворюється так званий жорсткий буфер. При застосуванні жорсткого буферу слід враховувати:

- можливість легкого видалення для проведення процедур з'єднання будівельних довжин ВОК;
- номінальний діаметр має бути від 800 мкм до 900 мкм і узгодженим між користувачем та постачальником. Відхилення від номіналу мають бути в межах ± 50 мкм. Неконцентричність між ОВ та вторинним захисним покриттям, за відсутності інших домовленостей між користувачем та постачальником, не повинна перевищувати 75 мкм.

ОВ повинні легко ідентифікуватись кольором або фіксованим положенням в межах кабельного осердя. При застосуванні кольорової ідентифікації кольори мають чітко розрізнятись і бути стійкими протягом усього терміну служби ВОК.

Стандартом ІЕС 60304 [3.18] визначено дванадцять кольорів для кодування ОВ та оптичних модулів (ОМ): білий, червоний, чорний, жовтий, синій, зелений, помаранчевий, сірий, коричневий (брунатний), бірюзовий, фіолетовий, рожевий. Комбінація кольорів та порядок нумерації ОВ та ОМ має бути узгоджена між споживачем та постачальником.

Первинні та вторинні захисні покриття мають легко видалятися і не створювати перешкоди для з'єднання ОВ або їх приєднання до оптичних з'єднувачів.

Будова кабельного осердя – кількість ОВ, метод захисту та ідентифікації, розміщення силових елементів та металевих дротів або пар, при необхідності має бути чітко визначена.

Стрічкові волоконні елементи (СВЕ) складаються з ОВ, вирівняних в рядок. В залежності від методу об'єднання СВЕ поділяються на два типи, зображені на рисунках 3.2 та 3.3. При використанні методу з'єднання ОВ по краю, волокна з'єднуються за допомогою адгезивного матеріалу, як правило,

лаку, однотипного з лаком первинного захисного покриття, який розміщується між ОВ. При виготовленні СВЕ капсульного типу, вирівняні ОВ розміщуються всередині матриці, виготовленої з такого самого матеріалу, як і первинне захисне покриття. ОВ в СВЕ мають бути паралельними і не перетинатись. Кожне ОВ в СВЕ повинне ідентифікуватись окремим кольором або фіксованим розміщенням в межах стрічкового елемента. Кожний СВЕ має ідентифікуватись надрукованим текстом або кольором скріплюючого матеріалу.

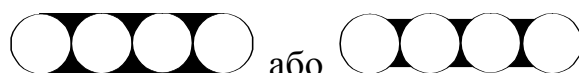


Рисунок 3.2 — Переріз типового стрічкового волоконного елемента зі з'єднанням по краю [3.4]



Рисунок 3.3 — Переріз типового стрічкового волоконного елемента капсульного типу [3.4]

Для уникнення безпосереднього тиску зовнішнього покриття кабелю на ОВ та/або СВЕ, їх укладають у пази профільованого осердя. Зазвичай пази формуються у осерді по спіралі з постійним або періодично змінюваним напрямком обертання. Профільоване осердя має металевий або неметалевий силовий елемент. Силовий елемент повинен мати щільний контакт з профільованим осердям, щоб забезпечити температурну стабільність та замикає на себе розтягуючі зусилля під час прокладання кабелю. В пазах профільованого осердя можуть міститись вологоблокуючі матеріали.

Трубка (оптичний модуль, ОМ) використовується для захисту та збирання ОВ та/або стрічкових волоконних елементів. Всередині трубки може міститись водоблокуючий матеріал. Якщо в ВОК застосовується лише одна трубка, що розміщується в центрі конструкції, її називають центральною трубкою (ЦТ).

Зазвичай зовнішній діаметр ОМ або ЦТ залежить від кількості розташованих в ньому ОВ [3.19]. Орієнтовні значення діаметрів ОМ та ЦТ дано в таблицях 3.7 та 3.8.

Таблиця 3.7 — Орієнтовні значення зовнішнього діаметра оптичних модулів

Тип оптичного модуля	Кількість ОВ	Зовнішній діаметр, мм
Одноволоконний ОМ	1	1,4
Багатоволоконний ОМ	Від 2 до 12	Від 1,8 до 3,5
Багатоволоконна ЦТ	Понад 12	Від 3,0 до 6,0

Таблиця 3.8 — Орієнтовні значення номінального діаметра оптичних модулів виробництва кабельних заводів СНД

Кількість ОВ	1	2	4	6	8	12	16	24
Діаметр ОМ, мм	1,4	1,8	2,0	2,2		2,5	2,7	3,0
Діаметр ЦТ, мм	—	—	2,8				3,0	

Для забезпечення нормального функціонування ВОК, без переобтягу ОВ протягом прокладання та всього терміну служби, кабель повинен мати силові елементи, які замикають на себе усі розтягуючі зусилля. Силові елементи можуть бути металевими або неметалевими що погоджується між користувачем та постачальником.

Заповнення кабелю осердя водоблокуючими компаундами або вкриття осердя водоблокуючими стрічками – два способи захисту ОВ від вологи. Для цього можуть застосовуватись стрічки, гідрофоби, розбухаючи від води порошки або їх комбінація. Будь-які застосовувані матеріали не повинні бути шкідливими для персоналу. Застосовувані в кабелі матеріали мають бути сумісними між собою і не повинні негативно впливати на ОВ. Водоблокуючі матеріали не повинні впливати на якість зв'язку та перешкоджати процесу з'єднання будівельних довжин.

Кабельне осердя має бути захищене оболонкою або оболонками, що задовольняють механічним вимогам та умовам довкілля. Вони забезпечать умови зберігання, прокладання та експлуатації. Оболонки можуть мати складну конструкцію та містити силові елементи.

При виборі типу оболонки та типу броні ВОК виходять з тих же міркувань, що й при виборі оболонки кабелів з металевими провідниками. При цьому слід враховувати можливість утворення водню водоблокуючими металевими бар'єрами. Мінімальна товщина оболонки має бути визначена разом з мінімальним або максимальним діаметром кабелю. Також слід пам'ятати, що застосування броні значно погіршує такі переваги ВОК як малі розміри, легкість та гнучкість.

Зовнішні оболонки підвісних ВОК мають бути стійкими до старіння через ультрафіолетове випромінювання та біологічні атаки.

Найбільш поширеним матеріалом для виготовлення оболонок є поліетилен. Однак у випадках, коли існують обмеження з пожежної безпеки, використовуються оболонки з інших спеціальних матеріалів, наприклад полівінілхлориду (ПВХ).

Броня застосовується для забезпечення додаткової міцності або захисту від зовнішнього впливу (роздавлювання, удари, біологічні атаки).

Для діелектричних ВОК в якості броні можуть застосовуватись арамідна пряжа, склопластикові стрижні, зв'язуючи стрічки тощо.

Для підвішування мають застосовуватись самонесучі кабелі, повністю діелектричні самонесучі кабелі та кабелі, призначені для підмотування (підв'язування).

Кабелі повітряного застосування можуть класифікуватись як самонесучі, коли кабель має несучий елемент (кабель у вигляді “вісімки”), або коли силові елементи розміщуються в осерді кабелю та/або в оболонці. Як альтернатива, кабель може підв'язуватись (підмотуватись) до високоміцного несучого елементу.

При проектуванні повітряних кабельних ліній слід враховувати відстань між опорами та стрілу провисання, вітрові та льодові навантаження.

Якщо важко відрізнити ВОК від кабелю з металевими провідниками в пластмасовій оболонці, ідентифікацію може покращити нанесення на оболонку ВОК маркувальних позначок. Маркувальні позначки, написи, кольорові смуги тощо, мають наноситись за угодою між користувачем та постачальником. Звичайною практикою є фарбування оболонки оптичного кабелю, в оглядових пристроях, жовтою фарбою.

Особливості конструкцій, оптичні, механічні характеристики та характеристики стійкості до впливу чинників довкілля ВОК для мереж доступу є в рекомендації L.58 [3.19].

Зазвичай, на кабельних мережах доступу застосовуються як ОВ об'єднаних з'єднувальних ліній так і індивідуальні ОВ. Тому біля станцій, де розміщена система зв'язку, сконцентровано багато ОВ. Якщо є достатньо інфраструктур (за виключенням, труб), можуть застосовуватись ВОК з малою кількістю ОВ. Однак, кількість вільних каналів зазвичай обмежена. Оскільки така інфраструктура призначена для розміщення багатожильних кабелів з мідними провідниками, то з розвитком концепцій FTTx (fiber to the x — волокно до точки x) і зокрема FTTH (fiber to the home — волокно до абонента) і швидким зростанням кількості абонентів зросте й потреба в ВОК високої ємності.

Існує два типових способи побудови ВОК високої ємності. Перший базується на використанні ОМ, в яких розміщуються ОВ в жорсткому буфері. ОМ скручуються навколо центрального елемента. Збільшення числа ОМ збільшує ємність ВОК.

Другий спосіб у використанні оптичних стрічкових елементів. Оптичний стрічковий елемент ідеально підходить для створення ВОК великої ємності, оскільки сам містить певну кількість щільно розміщених ОВ.

3.4 Пожежна безпека кабелів

Щорічно в Україні трапляється близько 53 тис. пожеж, з яких 68 % в житлових, адміністративних, громадських та побутових будинках [3.20]. Приблизно 14% з них через загоряння кабелів і проводів [3.21]. Причому розгалужені кабельні комунікації не лише стають носіями пожежної небезпеки, але й напрямними системами, по яким полум'я може розповсюджуватись по будівлям та спорудам[3.22].

Головною причиною пожеж від займання кабелів та проводів є протікання струму витоку в місцях пошкодження ізоляції та через контакт провідників з металевими частинами кабельних систем. Недостатній контакт призводить до великого рівня перехідного опору між металевими елементами в місці контакту, що в свою чергу призводить до виділення надмірної теплоти. Іноді можуть утворюватись електрична дуга, іскріння та розплавлення металевих елементів. Все це призводить до займання горючих матеріалів.

Дія джерел запалювання через неполадку кабельних ліній або інших зовнішніх джерел запалювання може спричинити займання елементів кабельних ліній та поширення полум'я вздовж кабельних систем.

Горіння кабелів зазвичай супроводжується виділенням значної кількості тепла, величина якого залежить від питомої теплоти згоряння матеріалу ізоляції, захисних покривів та їх маси (в одиниці довжини кабелю). Як показують дослідження спалювання пучків кабелів в умовах кабельного каналу температура з зони горіння поліетиленової оболонки сягає 1000...1200°C. Горіння супроводжується виділенням чорного диму та інших газоподібних продуктів горіння.

Окрім власне вогню, значну шкоду, приміщенням та обладнанню встановленому в них, може спричинити саме виділення диму і продуктів горіння.

При горінні полімерних конструктивних елементів кабелів можуть також утворюватись удушливі та токсичні речовини. До таких речовин відносяться оксид вуглецю, оксид азоту, діоксид сірки, хлористий водень, різні формальдегіди тощо. Ці речовини можуть викликати пошкодження дихальних шляхів, що в свою чергу може стати причиною загибелі людей. Крім того, з'єднуючись з парою води, ці речовини можуть утворювати кислоти та луги, спроможні викликати корозію металевих конструкцій та пошкодження електронного обладнання.

Розповсюдження горіння залежить не лише від кількості прокладених кабелів, але й від їх взаємного розташування у просторі. На рисунку 3.4 показано, що кабелі загальнопромислового виконання (кабелі з оболонками із ПВХ пластикату) при їх прокладанні в кількості 5, в більшості випадків

розповсюджують горіння при вертикальному розташуванні зразків. При цьому стійке розповсюдження горіння спостерігається при розміщенні кабелів у пучку з проміжком, як це показано на рисунку 3.5 [3.22].

У зв'язку з широкомасштабним впровадженням мереж широкосмугового доступу на базі технологій FTTx, намітилась тенденція до росту кількості різноманітних телекомунікаційних кабелів всередині житлових та офісних приміщень. Тому питання пожежної безпеки стають ще більш актуальними.



Рисунок 3.4 – Залежність розповсюдження горіння від кількості кабелів у пучку



Рисунок 3.5 – Залежність розповсюдження горіння від величини проміжку між кабелями в пучку

Сучасні вимоги пожежної безпеки кабелів увійшли в міжнародні стандарти на межі 90-х років минулого сторіччя.

Велика увага пожежній безпеці приділяється й в Україні. Лише за останні десять років було розроблено і затверджено Держспоживстандартом та Мінрегіонбудом України більше 110 стандартів у сфері пожежної безпеки. Відповідні зміни було внесено в усі Державні та відомчі будівельні норми. У зв'язку з наказом Держспоживстандарту від 07.04.2009 р. № 137 затверджено Зміни до Переліку продукції, що підлягає обов'язковій сертифікації в Україні. Головні зміни стосуються обов'язкової сертифікації кабельно-провідникової продукції на вимоги пожежної безпеки. Основні вимоги представлені в таблиці

3.9. Наведені дані характеристик пожежної безпеки реалізовані у конструкціях кабелів, призначених для експлуатації в умовах підвищеної пожежної безпеки (житлові приміщення, офіси, адміністративні споруди, цехи заводів та фабрик, електростанції тощо).

Таблиця 3.9 – Нормовані показники пожежної безпеки кабельних виробів

Найменування показника	Позначення в марках кабелів	Нормативні документи для оцінки результатів	
		українські	МЕК
Нерозповсюдження горіння:			
одинарного зразка	Без позначення	ДСТУ 4216:2003 [3.23] ДСТУ 4217:2003 [3.24]	ІЕС 60332-1 [3.25] ІЕС 60332-2 [3.26]
при груповому прокладанню	Індекс “нг”	ДСТУ 4237-3-21:2004 [3.27] ДСТУ 4237-3-22:2004 [3.28] ДСТУ 4237-3-23:2004 [3.29] ДСТУ 4237-3-24:2004 [3.30] ДСТУ 4237-3-25:2004 [3.31]	ІЕС 60332-3-21 [3.32] ІЕС 60332-3-22 [3.33] ІЕС 60332-3-23 [3.34] ІЕС 60332-3-24 [3.35] ІЕС 60332-3-25 [3.36]
Виділення диму та газу при горіння та жеврінні	Індекс “LS”	ДСТУ 4237-2:2004 [3.37]	ІЕС 61034-2 [3.38]
Корозійна активність продуктів димо- та газовиділення	Індекс “HF”	ДСТУ ІЕС 60754-1:2002 [3.39] ДСТУ ІЕС 60754-2:2006 [3.40]	ІЕС 60754-1 [3.41] ІЕС 60754-2 [3.42]
Вогнестійкість	Індекс “FR”	ДСТУ ІЕС 60331-21 [3.43] ДСТУ ІЕС 60331-23 [3.44]	ІЕС 60331-11 [3.45] ІЕС 60331-21 [3.46] ІЕС 60331-23 [3.47]
Токсичність продуктів горіння	Індекс “LTx”	ГОСТ 12.1.044-89 [3.48]	—

Реалізація вимог пожежної безпеки іноді суперечить вимогам до електричних, фізико-механічних характеристик та надійності кабельних виробів. Тому реалізація вимог пожежної безпеки є досягненням певного компромісу, що призводить лише до часткового їх задоволення. Отже ступінь реалізації вимог пожежної безпеки визначається призначенням кабелів. Враховуючи ступінь реалізації вимог пожежної безпеки сучасні кабелі можуть класифікуватись за схемою наведеною на рисунку 3.6 [3.22].

За показниками пожежної безпеки кабельні вироби мають поділятися на наступні типи виконання [3.49]:

- кабельні вироби, що не розповсюджують горіння при одинарному прокладанні (без позначення);
- кабельні вироби, що не розповсюджують горіння при груповому прокладанні (позначення – нг);
- кабельні вироби, що не розповсюджують горіння при груповому прокладанні, з пониженим димо- та газовиділенням (позначення – нг-LS);
- кабельні вироби, що не розповсюджують горіння при груповому прокладанні та не виділяють корозійно-активних газоподібних продуктів при горінні та жеврінні (позначення – нг-HF);
- кабельні вироби, що не розповсюджують горіння при груповому прокладанні, зі зменшеним димо- та газовиділенням (позначення – нг-FRLS);



Рисунок 3.6 – Класифікація кабелів за показниками пожежної безпеки

- кабельні вироби вогнестійкі, що не розповсюджують горіння при груповому прокладанні та не виділяють корозійно-активних газоподібних продуктів при горінні та жеврінні (позначення – нг-FRHF);
- кабельні вироби, що не розповсюджують горіння при груповому прокладанні, зі зменшеним димо- та газовиділенням та з низькою токсичністю продуктів горіння (позначення – нг-LSLTx);

– кабельні вироби, що не розповсюджують горіння при груповому прокладанні, не виділяють корозійно-активних газоподібних продуктів при горінні та жеврінні та з низькою токсичністю продуктів горіння (позначення – нг-HFLTx).

В Україні вимоги до ізольованих проводів та кабелів викладені в ДСТУ 4809:2007 [3.50]. Згідно цього стандарту на оболонку кабельного виробу має бути нанесено додаткове маркування ідентифікаційних познач за вимогами пожежної безпеки. В разі неможливості нанесення додаткового маркування на оболонку кабельного виробу, ідентифікаційні позначки за вимогами пожежної безпеки мають бути вказані в супровідній документації (технічних умовах).

Структура складу додаткових маркувальних даних кабельного виробу за вимогами пожежної безпеки показана на рисунку 3.7.

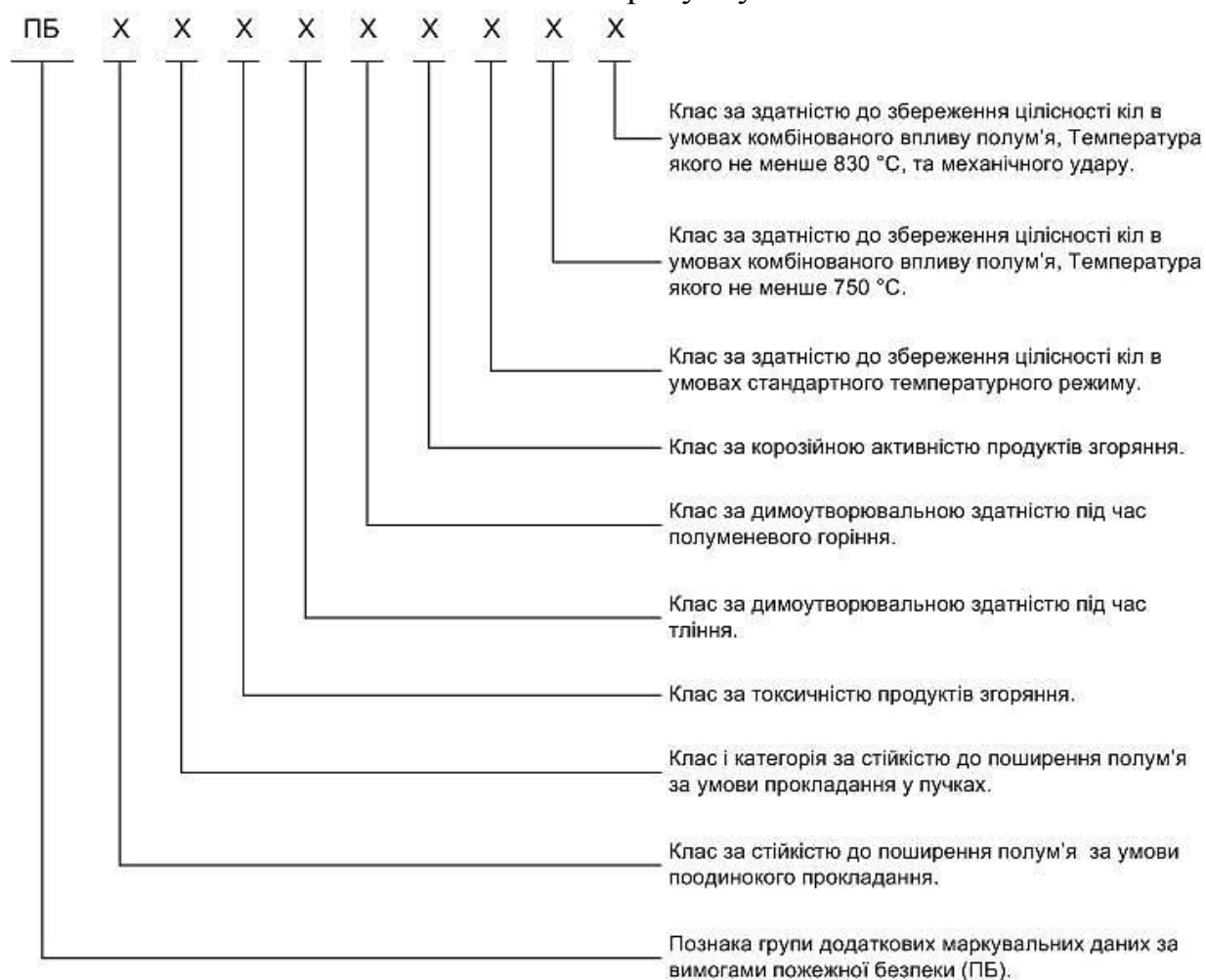


Рисунок 3.7 – Структура додаткового маркування за вимогами пожежної безпеки

В технічній документації на кабельний виріб має бути зазначена область застосування з урахуванням показників пожежної безпеки та типу виконання.

Рекомендована область застосування кабельних виробів подана у таблиці 3.10 [3.49].

Для реалізації кабельних виробів різних типів виконання, світовою кабельною промисловістю були розроблені різноманітні кабелі. Найбільш типові розглянуто нижче.

Кабелі з оболонкою з *полівнілхлоридного (ПВХ) пластикату* найбільш прості у використанні. Їх часто відносять до кабелів загального призначення. Вони призначені для інсталяції в місцях, де відсутні особливі вимоги до пожежної безпеки. ПВХ пластикат відноситься до важкогорючих матеріалів. При горінні ПВХ пластикат може виділяти хлороводень. Хлор служить акцептором вільних радикалів і підвищує пожежостійкість матеріалу.

Таблиця 3.10 — Рекомендована область застосування кабельних виробів за типом виконання

Тип виконання кабельного виробу	Рекомендована область застосування
Без виконання	Для одинарного прокладання в кабельних спорудах та виробничих приміщеннях. При груповому прокладанні – обов’язкове використання засобів пасивного вогнезахисту.
Виконання: нг, нг (А), нг (А F/R), нг (В), нг (С) та нг (D)	Для групового прокладання з урахуванням обсягу горючого навантаження кабельних споруд, зовнішніх (відкритих) кабельних естакадах та галереях. Не припускається застосування в кабельних приміщеннях підприємств, житлових та суспільних будівель.
Виконання – нг-LS	Для групового прокладання з урахуванням обсягів горючого навантаження кабельних споруд в житлових та суспільних будівлях.
Виконання – нг-HF	Для групового прокладання з урахуванням обсягів горючого навантаження на приміщення, оснащені комп’ютерною та мікропроцесорною технікою; в будівлях ті спорудах з масовим перебуванням людей.
Виконання – нг-FRLS	Для одинарного або групового прокладання (з урахування обсягів горючого навантаження) в системах які мають зберігати працездатність в умовах пожежі.
Виконання – нг-FRHF	
Виконання – нг-LSLTx	Для одинарного або групового прокладання (з урахування обсягів горючого навантаження) в будівлях дитячих дошкільних освітніх закладів, спеціалізованих домів пристарілих та інвалідів, лікарень, спальних корпусів освітніх закладів інтернатного типу та дитячих установ.
Виконання – нг-HFLT _x	

Кабелі типу *Plenum (CMP) Rated Cable* призначені для інсталяції через повітроводові канали (так звані плени). Пленум-кабелі повинні бути самогасними і повторно не спалахувати. Вони також виділяють менше диму, ніж традиційні кабелі в ПВХ оболонках. Дим та газ токсичні.

Кабелі з оболонками *Low Smoke Zero Halogen (LSZH, LS0H)* призначені для використання там, де потрібні малодимні та низькокородуючі гази. Галоген містить фтор, хлор, бром та йод. При згорянні ці матеріали виділяють кислотний дим, який може нанести шкоду людям та обладнанню. Такі кабелі не повинні виділяти чорної сажі та диму при горінні. Вони самі гаснуть, але не придатні для прокладання у вертикальних стояках.

Кабелі типу *Riser (CMR) Rated Cable* призначені для використання у вертикальних лотках, таких як кабельні траси між поверхами, по стояках або в шахтах ліфтів. Ці простори не використовуються для подачі повітря. Такі кабелі повинні бути самотгасними і перешкоджати розповсюдженню полум'я вгору по кабелю. Riser неможна прокладати замість Plenum кабелів.

Кабелі загального використання (*General Purpose - CM, CMG, CMx, Cable*) будуть горіти і можуть бути частково самотгасними. Вони не призначаються для використання під фальшпідлогою та у plenum-порожнинах. Зазвичай такі кабелі використовуються для ШСЗ (шнурів світловодних з'єднувальних) -патчкордів та пігтейлів.

Кабелі обмеженого використання (*Limited Use Cable*) мають певні обмеження на відкрите прокладання. Наприклад, в житлових будівлях, їх прокладання допускається лише в трубах з матеріалу, що не розповсюджує горіння, або лімітується їх максимальний діаметр тощо.

Кабелі з оболонками з негорючого ПВХ пластикату (*FR-PVC - Fire retardant - polyvinylchloride*) мають кращі вогнестійкі властивості, ніж з оболонками із звичайного ПВХ пластикату. Вони мають значні переваги у більш низькому виділенні кислоти та утворенні диму. Правда виділення хлору оболонками з вогнестійкого ПВХ пластикату дещо вища (5%), ніж у звичайного ПВХ.

Безгалогенні вогнестійкі кабелі (*HFFR - Halogen Free Flame Retardant cables*) допомагають уникнути пожеж. З моменту виникнення, і навіть під час горіння, такі кабелі виділяють значно менше супутнього диму. Для HFFR-кабелів головними перевагами залишаються механічні та електричні характеристик, висока вогнестійкість, низьке поглинання води.

Для підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів цивільного призначення до низки державних будівельних норм і правил було включено особливі вимоги пожежної безпеки [3.51, 3.52]. Такі вимоги стосуються і систем прокладання кабельних виробів (трубопроводів, коробів, лотків та драбин). Ці вимоги пожежної безпеки наведені в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Особливі вимоги пожежної безпеки до систем прокладання кабельних виробів, що встановлені в державних будівельних нормах і правилах для об'єктів цивільного призначення

Назва системи або її складової частини	Назва об'єкта, на якому застосовується система	Особливі вимоги пожежної безпеки до систем або її складових частин
Кабельні трубопроводи, короби	Житлові, громадські, адміністративні та побутові будинки	Мережі, які прокладаються за непрохідними підвісними стелями з негорючих будівельних матеріалів повинні прокладатись у трубах, коробах і гнучких рукавах, вироблених із негорючих або важкогорючих матеріалів.
Кабельні трубопроводи і короби	Житлові будинки	Допускається прокладання проводів і кабелів ліній живлення квартир разом з проводами і кабелями групових ліній робочого освітлення сходових кліток, поверхових коридорів та інших приміщень усередині будинків у загальній трубі або загальному коробі з негорючих або важкогорючих матеріалів з помірною димоутворювальною здатністю.
Неметалеві короби	Адміністративні та побутові будинки	Допускається під час їх реконструкції застосовувати відкриту електропроводку в пластмасових коробах із важкогорючих матеріалів з помірною димоутворювальною здатністю.

Неврахування аспектів пожежної безпеки при проектуванні кабельних систем часто стає причинами виникнення та розвитку пожеж в будинках та спорудах. Зростання кількості кабелів всередині будівель та споруд викликає підвищення ризику виникнення пожеж. Тому дуже важливим є дотримання чинних вимог пожежної безпеки ще на етапі проектування кабельних систем [3.53].

Для цього, по-перше, слід вибирати кабелі та проводи відповідного типу виконання. Це може зменшити ризик займання та поширення полум'я.

По-друге, елементи кабельних систем (труби, лотки, короби та драбини) мають бути виготовлені з негорючих або важкогорючих матеріалів, що дозволить значно зменшити ризик розповсюдження полум'я вздовж кабельної системи.

І, по-третє, всі кабелі та елементи кабельних систем мають мати сертифікат відповідності вимогам пожежної безпеки, виданий акредитованим на право проведення випробувань на пожежну безпеку органом. Це дозволить уникнути можливості застосування сумнівних кабельних виробів та елементів кабельних систем.

Перелік посилань до розділу 3

- 3.1 ДСТУ ІЕС 60793–1–1–2001 Волокна оптичні. Частина 1–1. Загальні технічні умови. Основні положення (ІЕС 60793–1–1: 1999, IDT).
- 3.2 В.Б. Каток, І.Е. Руденко. Основні напрямки стандартизації оптичних кабелів зв'язку / — Зв'язок, № 4, 2005. — с. 17–22.
- 3.3 В.Б. Каток, І.Е. Руденко. Стійкість оптичних кабелів до впливів навколишнього середовища / — Зв'язок, № 5–6, 2008. — с. 24–28.
- 3.4 ITU-T Recommendation L.10 (12/2002) Optical fibre cables for duct, tunnel, aerial and buried application.
- 3.5 ITU-T Recommendation L.26 (12/2002) Optical fibre cables for aerial application.
- 3.6 ITU-T Recommendation L.43 (12/2002) Optical fibre cables for buried application.
- 3.7 ITU-T Recommendation L.59 (01/2008) Optical fibre cables for indoor application.
- 3.8 ITU-T Recommendation L.67 (10/2006) Small count optical fibre cables for indoor applications.
- 3.9 ITU-T Recommendation L.78 (05/2008) Optical fibre cable construction for sewer duct applications.
- 3.10 ITU-T Recommendation L.87 (06/2010) Optical fibre cables for drop applications.
- 3.11 ITU-T G.Sup.40. Optical fibre and cable Recommendations and standards guideline
- 3.12 В.Б. Каток, А.С. Ковтун, І.Э. Руденко. Оптика по высшим стандартам / — Сети и телекоммуникации, № 11, 2004. — с. 62–70.
- 3.13 ITU-T Recommendation K.47 (05/2012) Protection of telecommunication lines against
- 3.14 ITU-T Recommendation L.46 (10/2000) Protection of telecommunication cables and plant from biological attack.
- 3.15 В.Б. Каток, А.С. Ковтун, І.Э. Руденко. Биологическая атака на кабель / — Сети и телекоммуникации, № 11, 2005. — с. 68–71.
- 3.16 ITU-T Recommendation L.60 (09/2004) Construction of optical/metallic hybrid cables.
- 3.17 V. Katok, A. Kovtun, I. Rudenko. Fundamental trends of telecommunication optical fiber cables standardization / 5th Anniversary Regional Turkey, Caspian & Black Sea Telecommunication & IT Conference and Exhibition. 11–13.04.2006. Istanbul (Turkey). Conference proceeding. P. 198–203.
- 3.18 IEC 60304 Standard colours for insulation for low—frequency cables and wires.

- 3.19 ITU-T Recommendation L.58 (03/2004) Optical fibre cables:Special access network.
- 3.20 Р.В. Климась. Прогнозування кількості виникнення пожеж в Україні на підставі статистичних даних за довгостроковий період із застосуванням методу найменших квадратів // Науковий вісник УкрНДІПБ. К.: № 2 (18), 2008. — С. 202–206.
- 3.21 Р.І. Кравченко. Удосконалення нормативної бази щодо вимог пожежної безпеки до систем прокладання кабельних виробів // Науковий вісник УкрНДІПБ. К.: № 2 (16), 2007. — С. 107–113.
- 3.22 М.К. Каменский. Основные аспекты пожарной безопасности электрических кабелей КАБЕЛЬ-news / № 6–7 / июнь–июль 2009, с. 48–55.
- 3.23 ДСТУ 4216:2004. Вимірювання густини диму, що утворюється під час згоряння кабелів у певних умовах. Частина 1. Метод випробовування та вимоги (IEC 60332-1:1997, MOD).
- 3.24 ДСТУ 4217:2003 Випробовування електричних кабелів в умовах впливу вогню. Частина 2. Випробовування на поширення полум'я поодинокі прокладеного вертикально розташованого ізолюваного проводу або кабелю з малим перерізом IEC IEC 60332-2:1989, MOD).
- 3.25 IEC 60332–1 (2004) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions. — Part 1: Test for vertical flame propagation for a single insulated wire or cable
- 3.26 IEC 60332–2(2004) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions — Part 2: Test for vertical flame propagation for a single small insulated wire or cable
- 3.27 ДСТУ 4237–3–21:2004 Испытание электрических кабелей в условиях влияния огня. Часть 3–21. Испытание на распространение полумья вертикально расположенных проводов или кабелей, проложенных в щепотках. Категория А F/R (IEC 60332–3–21:2000, MOD).
- 3.28 ДСТУ 4237–3–22:2004 Випробовування електричних кабелів в умовах впливу вогню. Частина 3-22. Випробовування на поширення полум'я вертикально розташованих проводів або кабелів, прокладених у пучках. Категорія А (IEC 60332–3–22:2000, MOD).
- 3.29 ДСТУ 4237–3–23:2004 Випробовування електричних кабелів в умовах впливу вогню. Частина 3–23. Випробовування на поширення полум'я вертикально розташованих проводів або кабелів, прокладених у пучках. Категорія В (IEC 60332–3–23:2000, MOD).
- 3.30 ДСТУ 4237–3–24:2004 Випробовування електричних кабелів в умовах впливу вогню. Частина 3–24. Випробовування на поширення полум'я

-
- вертикально розташованих проводів або кабелів, прокладених у пучках. Категорія С (IEC 60332-3-24:2000, MOD).
- 3.31 ДСТУ 4237-3-25:2004 Випробовування електричних кабелів в умовах впливу вогню. Частина 3-25. Випробовування на поширення полум'я вертикально розташованих проводів або кабелів, прокладених у пучках. Категорія D (IEC 60332-3-25:2000, MOD).
- 3.32 IEC 60332-3-21 (2000) Tests on Electric Cables Under Fire Conditions — Part 3-21: Test for Vertical Flame Spread of Vertically-Mounted Bunched Wires or Cables — Category A F/R
- 3.33 IEC 60332-3-22 (2009) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions — Part 3-22: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables — Category A
- 3.34 IEC 60332-3-23(2009) Tests on electric cables under fire conditions — Part 3-23: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables — Category B
- 3.35 IEC 60332-3-24 (2009) Tests on electric cables under fire conditions — Part 3-24: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables — Category C
- 3.36 IEC 60332-3-25 (2009) Tests on electric and optical fibre cables under fire conditions — Part 3-25: Test for vertical flame spread of vertically-mounted bunched wires or cables — Category D.
- 3.37 ДСТУ 4367-2:2004 Вимірювання густини диму, що утворюється під час згоряння кабелів у певних умовах. Частина 2. Метод випробовування та вимоги (IEC 61034-2:1997, MOD)
- 3.38 IEC 61034-2 (2005) Measurement of Smoke Density of Cables Burning under Defined Conditions — Part 2: Test Procedure and Requirements
- 3.39 ДСТУ IEC 60754-1-2002 Випробовування на гази, які виділяються під час згоряння матеріалів кабелів. Частина 1. Визначання кількості галогеноводнів (IEC 60754-1:1994, IDT)
- 3.40 ДСТУ IEC 60754-2:2006 Випробовування на гази, які виділяються під час згоряння матеріалів кабелів. Частина 2. Визначення ступеня кислотності газів вимірюванням водневого показника pH та питомої електропровідності (IEC 60754-2:1991, IDT)
- 3.41 IEC 60754-1 (1994) Test on Gases Evolved During Combustion of Materials from Cables — Part 1: Determination of the Amount of Halogen Acid Gas
- 3.42 IEC 60754-2 (1991) Test on Gases Evolved During Combustion of Electric Cables; Part 2: Determination of Degree of Acidity of Gases Evolved During the Combustion of Materials Taken from Electric Cables by Measuring pH and Conductivity

- 3.43 ДСТУ ІЕС 60331–21:2008 Випробування електричних кабелів вогнем. Цілісність кіл. Частина 21. Методика випробування. Кабелі номінальною напругою до 0,6/1,0 кВ включно
- 3.44 ДСТУ ІЕС 60331–23:2008 Випробування електричних кабелів вогнем. Цілісність кіл. Частина 23. Методика випробування. Електричні кабелі для передавання даних
- 3.45 ІЕС 60331–11 (2004) Tests for electric cables under fire conditions — circuit integrity — Part 11: apparatus — fire alone at a flame temperature of at least 750 °C.
- 3.46 ІЕС 60331–21 (1999) Tests for electric cables under fire conditions — circuit integrity — Part 21: procedures and requirements — cables of rated voltage up to and including 0.6 / 1.0 kV.
- 3.47 ІЕС 60331–23 (1999) Tests for electric cables under fire conditions — circuit integrity — Part 23: procedures and requirements — electric data cables.
- 3.48 ГОСТ 12.1.044–89 ССБТ. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения
- 3.49 ГОСТ Р 53315–2009. Кабельные изделия. Требования пожарной безопасности.
- 3.50 ДСТУ 4809:2007 Ізольовані проводи та кабелі. Вимоги пожежної безпеки та методи випробування.
- 3.51 ДБН В.2.5–23–2003 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. — К.: Державний комітет України з будівництва та архітектури України, 2004. — 129 с.
- 3.52 ДБН В.2.2-15-2005 Будинки і споруди. Житлові будинки. Основні положення. — К.: Держбуд України, 2005. — 36 с.
- 3.53 Каток В.Б., Руденко І.Е. Пожежна безпека кабелів телекомунікацій / — Зв'язок, № 4, 2010. — с.14–17.
- 3.54 Каток В.Б., Руденко І.Е. Волоконно-оптичні кабелі зв'язку. — К., Логос, 2013. — 334 с.
- 3.55 Каток В.Б. Стандартизація оптичних кабелів зв'язку / Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники», часть 3. — 2007. — С.80-82.

4 Типові конструкції волоконно-оптичних кабелів зв'язку

4.1 Основні елементи конструкцій ВОК

Основним елементом ВОК є ОВ, тому усі конструктивні елементи ВОК повинні забезпечувати надійну роботу ОВ протягом усього терміну служби кабелю.

Оскільки межі механічної міцності ОВ значно нижчі ніж у струмопровідних елементів металевих кабелів зв'язку, ОВ обов'язково потрібно захищати. Для безпосереднього захисту на ОВ накладають захисні покриття. Розрізняють первинне захисне покриття та вторинне покриття [4.1].

Первинне захисне покриття ОВ наноситься безпосередньо на оболонку ОВ. Первинне захисне покриття ОВ виготовлюється з лаків на акрилатній основі, причому первинне захисне покриття виготовлюється двошаровим. Первинне захисне покриття (внутрішній) шар виготовляється з м'якого акрилату. Воно забезпечує захист ОВ. Вторинне захисне покриття (зовнішній) шар виготовляється з твердого акрилату і забезпечує м'який акрилат. Часто поверх первинного захисного покриття використовують вторинний захист ОВ:

Найбільш широкого застосування набули такі типи вторинного захисного покриття [4.2]:

- за допомогою вільного укладання ОВ в спеціальній трубці (оптичному модулі) або в пазу профільованого осердя;
- за допомогою жорстких конструкцій;
- стрічкові структури.

Оптичний модуль (ОМ) являє собою систему у вигляді пластмасової трубки, всередині якої розміщено одне або кілька ОВ (як правило до 12 ОВ). При потребі ОМ може бути заповнений гідрофобним заповнювачем. Трубки можуть виготовлятися з поліетилену (ПЕ), поліаміду (ПА), полібутилентерефталату (ПБТ) або полікарбонату. ОВ в ОМ розташоване вільно по гелікоїді. Таке розміщення ОВ дозволяє значно зменшити вплив на нього зовнішніх навантажень, прикладених до ВОК.

Іншим способом захисту ОВ є вільне його укладання в паз (пази) профільованого елемента (осердя). Пази формуються по гелікоїді. ОВ вільно укладаються в пази і фіксуються шляхом обмотування профільованого елемента скріплюючою плівкою. В результаті утворюється система ідентична захисту за допомогою ОМ. Профільований елемент виготовлюють з ПЕ або поліпропілену (ПП). При потребі вільний простір може бути заповнений гідрофобним заповнювачем.

Жорсткі методи захисту ОВ використовують у випадках коли виникають потреби забезпечення малих радіусів вигину та досить високого рівня стійкості

до роздавлюючих зусиль. При такому захисті покриття (жорсткий буфер) накладається безпосередньо на первинне захисне покриття. Матеріалом для жорсткого буфера служить ПА або ПБТ, іноді фторопласт.

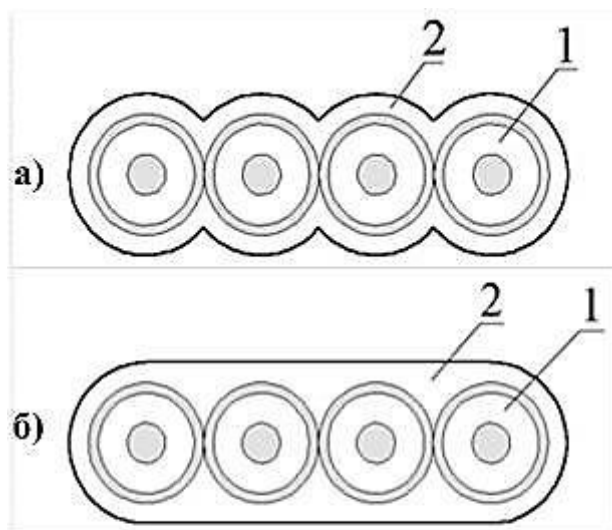


Рисунок 4.1 — Типи стрічкових конструкцій ОВ: а) конструкція з ОВ, що склеєні по їхнім бічним поверхням б) конструкція, що має загальну оболонку із заливанням ("капсула")

1 — ОВ; 2 — адгезивний матеріал.

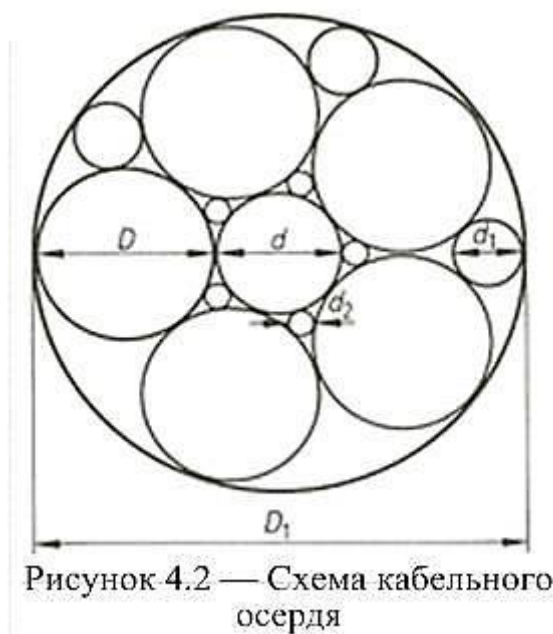
ВОК крім ОВ може мати в своєму складі й інші елементи: провідники дистанційного живлення, сигнальні пари, силові елементи, корделі та інші елементи, що слугують для заповнення вільних проміжків в кабелі з метою надання потрібної форми, механічної міцності, повздовжньої герметичності, тощо. Сукупність ОВ з захисним покриттям, електричних дротів, заповнювачів, можливо з поясною ізоляцією, що знаходяться під оболонкою називається кабельним осердям. Кабельне осердя визначає типову конструкцію ВОК. В залежності від типу захисного покриття ОВ,

розрізняють ВОК з [4.3]:

- вільним укладанням ОВ – модульні, з центральною захисною трубкою та з профільованим осердям;
- жорсткою конструкцією;
- стрічкові.

Значно нижча, в порівнянні з основними елементами металевих кабелів, межа механічної міцності на розрив ОВ вимагає застосування в конструкціях ВОК таких специфічних елементів конструкції, як силові елементи, які повинні замикати на себе усі розтягувальні зусилля, що можуть прикладатись до ВОК в процесі прокладання або технічної експлуатації.

В ВОК модульного типу або повивної скрутки, де кілька ОМ або профільованих елементів скручуються навколо центрального елемента, який водночас виконує функцію силового елемента і має назву центрального силового елемента (ЦСЕ). ЦСЕ, як правило, виготовляються з склопластикового стрижня або сталевих канатів в ПЕ оболонці. Діаметр ЦСЕ залежить від кількості та діаметру скручених навколо нього елементів [4.4].



Геометричні залежності у ВОК одноповивної скрутки з числом елементів n , кожний з яких має свій певний діаметр (рисунок 4.2), можуть бути описані через параметри a , b , c , e та кут скрутки α наступним чином [4.5]:

Повний діаметр кабельного осердя дорівнює

$$D_1 = D(a \cdot e + 1), \quad (4.1)$$

а діаметр ЦСЕ

$$d = D(a \cdot e - 1). \quad (4.2)$$

Діаметри периферійних d_1 та центральних d_2 наповнювачів дорівнюють:

$$d_1 = \frac{D}{2} \frac{(1+a-b)^2}{2+a-b}, \quad (4.3)$$

$$d_2 = \frac{D}{2} \frac{(1-a+b)^2}{2-a+b}. \quad (4.4)$$

Розрахункові співвідношення для кабельного осердя з кількістю елементів у повії від 2 до 12 подано у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 — Значення різних діаметрів для розрахунку

Число елементів у повії	Діаметр осердя, D_1	Діаметр ЦСЕ, d	Діаметр периферійного наповнювача d_1	Діаметр центрального наповнювача d_2
2	$2,000 \cdot D$	$0,000 \cdot D$	$0,667 \cdot D$	$0,000 \cdot D$
3	$2,155 \cdot D$	$0,155 \cdot D$	$0,483 \cdot D$	$0,063 \cdot D$
4	$2,414 \cdot D$	$0,414 \cdot D$	$0,414 \cdot D$	$0,108 \cdot D$
5	$2,701 \cdot D$	$0,701 \cdot D$	$0,378 \cdot D$	$0,136 \cdot D$
6	$3,000 \cdot D$	$1,000 \cdot D$	$0,354 \cdot D$	$0,155 \cdot D$
7	$3,305 \cdot D$	$1,305 \cdot D$	$0,339 \cdot D$	$0,168 \cdot D$
8	$3,613 \cdot D$	$1,613 \cdot D$	$0,327 \cdot D$	$0,178 \cdot D$
9	$3,924 \cdot D$	$1,924 \cdot D$	$0,318 \cdot D$	$0,186 \cdot D$
10	$4,236 \cdot D$	$2,236 \cdot D$	$0,311 \cdot D$	$0,192 \cdot D$
11	$4,549 \cdot D$	$2,549 \cdot D$	$0,305 \cdot D$	$0,197 \cdot D$
12	$4,864 \cdot D$	$2,864 \cdot D$	$0,300 \cdot D$	$0,202 \cdot D$

Існує два типи скрутки елементів осердя: спіральна та SZ-скрутка з чергуванням напрямку. При спіральній скрутці елементи скручуються в одному напрямі з одноковим кутом по відношенню до подовжньої осі кабелю. При SZ-скрутці напрям скручування міняється через певне число витків, при цьому в точці зміни напрямку елементи осердя лежать паралельно осі кабелю.

У випадку коли в ВОК використовується лише одна захисна трубка, що розміщується в центрі конструкції ВОК, усі силові елементи виносяться за кабельне осердя.

Для захисту осердя ВОК від вологи та інших зовнішніх впливів використовується безперервна металева або неметалева трубка, яка розташована поверх осердя.

Поверх оболонки може накладатись броня з металевих стрічок, одного або кількох повіїв металевих дротів, яка призначається для захисту від зовнішніх механічних та електричних впливів і, в деяких випадках, для сприйняття розтягувальних зусиль (броня із дротів).

Поверх металевої броні або обплетення накладається захисний шланг – суцільна екструзована трубка з пластмаси.

4.2 Типові конструкції

Як зазначалось вище тип захисту ОВ визначає типовість конструкції ВОК. Таким чином розрізняють ВОК з [4.6, 4.7]:

- вільним укладанням ОВ;
- жорстким буфером;
- стрічковими елементами.

ВОК з вільним укладанням ОВ в даний час набули найбільшого застосування [4.8]. Найбільш поширеною конструкцією ВОК є конструкція, в якій ОВ укладені в захисні трубки – оптичні модулі (ОМ), які в свою чергу скручуються навколо центрального силового елемента (ЦСЕ) (рисунок 4.3). До переваг такої конструкції слід віднести простоту ідентифікації ОВ та монтажу ВОК.

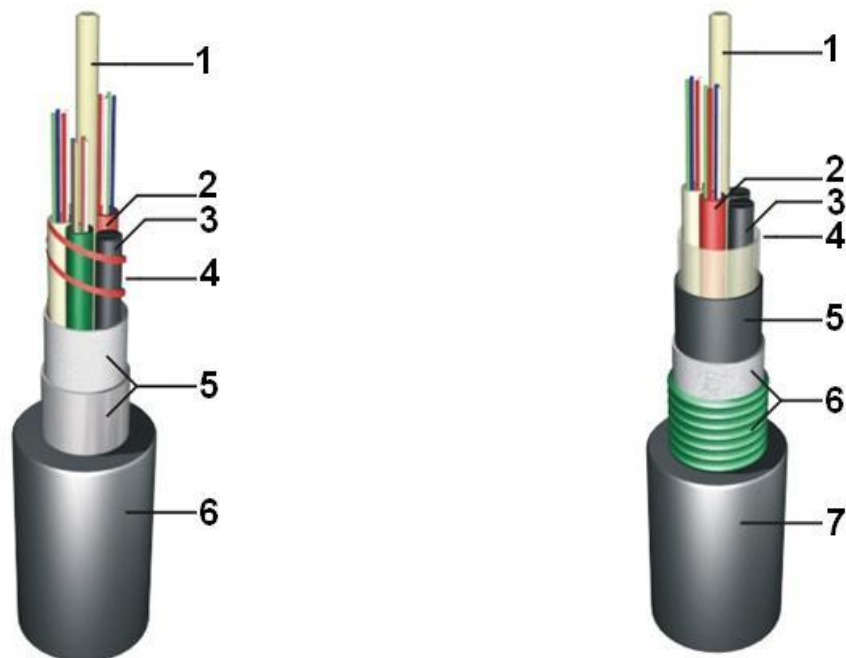


Рисунок 4.3 Приклад конструкції оптичного кабелю для прокладання в кабельній каналізації та ґрунт.

- 1 – центральний силовий елемент
- 2 – модуль з оптичними волокнами
- 3 – кордель заповнення (для щільного укладання елементів в осерді ОК, якщо більшої кількості модулів з оптичними волокнами не потрібно)
- 4 – гідрофобний заповнювач
- 5 – водоблокуюча стрічка та алюмінієва скріплююча стрічка
- 6 – зовнішня поліетиленова оболонка

- 1 – центральний силовий елемент
- 2 – модуль з оптичними волокнами
- 3 – кордель заповнення
- 4 – гідрофобний заповнювач
- 5 – внутрішня поліетиленова оболонка
- 6 – водоблокуюча стрічка та гофрована сталева стрічка для захисту від пошкоджень кабелю гризунами
- 7 – зовнішня поліетиленова оболонка

Іншою конструкцією є ВОК, в якому ОВ укладаються в одній захисній трубці, більшого діаметру ніж діаметр звичайного ОМ. Ця трубка розміщується в центрі конструкції ВОК і складає його осердя (рисунок 4.4), це так звані кабелі з центральною трубкою (ЦТ). Усі силові елементи винесені за осердя. До переваг такої конструкції слід віднести відносно малі діаметри ВОК. До недоліків – відносна складність ідентифікації ОВ при укладенні волокон не в ОМ а вільно розташованих в кількох пучках котрі розділених кольоровими маркуючи ми нитками та монтажу ВОК.

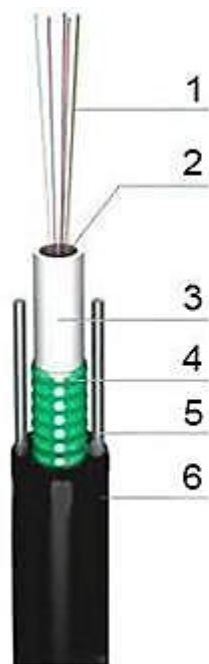


Рисунок 4.4 — ВОК з центральною захисною трубкою для прокладання безпосередньо в кабельній каналізації.

- 1 - 12-ти волоконний пакет;
- 2 - гідрофобний заповнювач;
- 3 - центральна захисна трубка;
- 4 - сталева гофрована оболонка;
- 5 - бічні силові елементи,
- 6 - захисна оболонка.

Також знаходять застосування ВОК комбінованої конструкції, яка містить кілька ОМ всередині ЦТ. Розміщення силових елементів за межами кабельного осердя дозволяє збільшити розтягувальні зусилля на ВОК. Таку конструкцію іноді називають Flax Tube.

На базі такої конструкції було розроблено ряд конструкцій ВОК (рисунок 4.5) для застосування на мережах широкосмугового доступу з використанням технології «волокно-до-абонента» (“Fibre to the home” – FTTH). Такі кабелі мають зовнішню оболонку з низькодимного матеріалу, що не містить галогенів і не підтримує горіння (LSOH).

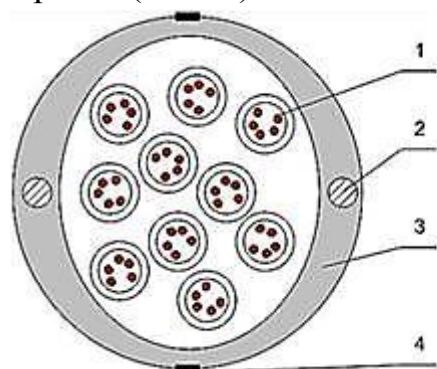


Рисунок 4.5 – ВОК для прокладання на мережах FTTH.

- 1 – ОМ з ОВ;
- 2 – силовий елемент;
- 3 – зовнішня захисна оболонка;
- 4 – продольний рубчик (маркер) місця розтину кабелю.

Особливістю кабелів є можливість розтину за допомогою спеціального інструменту «вікна» в зовнішній оболонці з подальшим вільним доступом до елементів осердя. Окремі волокна або модулі можуть витягуватися з кабелю на довжину до 20 м. Завдяки цьому стає можливим, на етапі будівництва мережі, прокладати вертикальні кабелі по існуючих або новостворюваних стояках без петель запасу на поверхах і без поверхових коробок, які можна встановлювати пізніше по мірі потреби. Кабель може мати ємність до 288 ОВ згрупованих в ОМ. Кожен ОМ може містити до 12 ОВ. За звичай число ОВ в ОМ вибирається виходячи з кількості абонентів на поверсі, а кількість модулів – за числом поверхів в будинку.

Третій варіант конструкції – це укладання ОВ у пази профільованого елемента, який водночас виконує функцію осердя (рисунок 4.6). ЦСЕ в цьому випадку розміщується в центрі профільованого елемента. До переваг таких ВОК слід віднести відносну дешевизну, а до недоліків - складність монтажу.

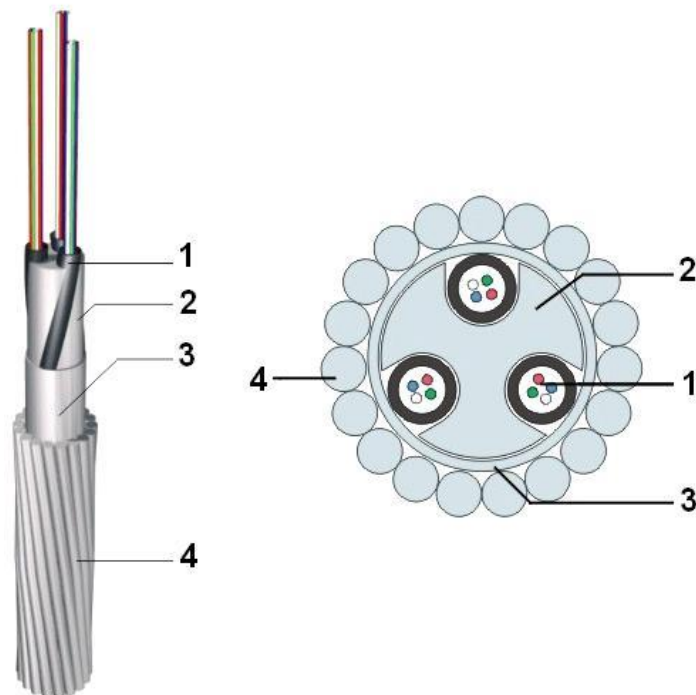


Рисунок 4.6 — ВОК з профільованим елементом для прокладання на ЛЕП в якості грозозахисного тросу.

- 1 – ОВ;
- 2 – профільований елемент;
- 3 – алюмінієва трубка;
- 4 – повив зі сталевих та алюмінієвих дротів.

ВОК жорсткої конструкції (рисунок 4.7) використовуються у тих випадках, коли треба забезпечити малі радіуси вигину, високу стійкість до удару та розтягувальних зусиль, що й визначає їх галузь застосування – всередині приміщень. Як правило в таких ВОК жорсткий буфер накладається

безпосередньо на ОВ (рисунок 4.7а). Вже ця конструкція може служити як окремий ВОК (такі кабелі можуть використовуватися як патчкорди та пігтейли). У випадку, коли потрібно більше одного ОВ, в жорсткому буфері можуть об'єднуватись (по 2, 4, 6, 8 або 12 ОВ) в спільній оболонці, утворюючи єдину конструкцію (рисунки 4.7б та 4.8). При зростанні потреби у ОВ, кілька, наприклад, 6-тиволоконних кабелів об'єднуються шляхом скручування та накладання спільної оболонки (рисунок 4.9). Недолік таких ВОК – складність монтажу, який вимагає спеціального обладнання.

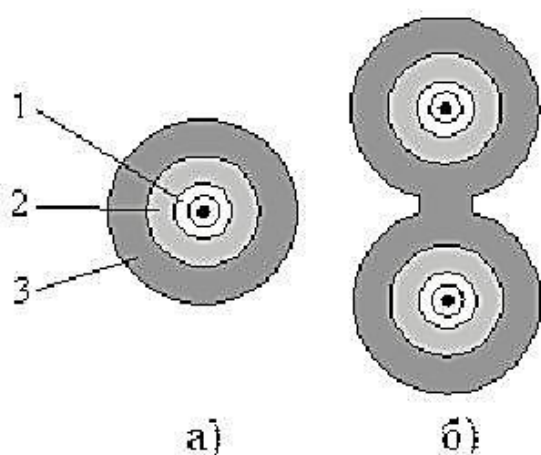


Рисунок 4.7 — Одно- (а) та двоховлоконні (б) ВОК для внутрішнього прокладання

- 1 — ОВ в жорсткому буфері;
- 2 — арамідні нитки;
- 3 — полівінілхлоридна оболонка

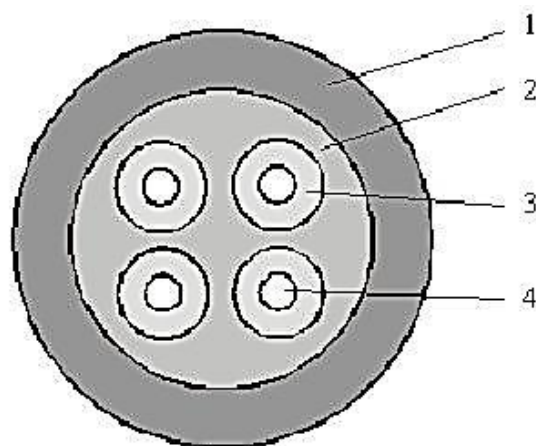


Рисунок 4.8 — 4-ховлоконний ВОК для внутрішнього прокладання

- 1 — ПВХ захисна оболонка;
- 2 — арамідні нитки;
- 3 — ОВ в жорсткому буфері (900 мкм);
- 4 — ОВ.

Стрічкові ВОК застосовуються у випадках коли потрібна велика кількість ОВ [4.9]. СВЕ можуть розміщуватись всередині ЦТ (рисунок 4.10), пазах профільованого елемента (рисунок 4.11) або у ОМ (рисунок 4.12). До переваг таких ВОК слід віднести можливість формувати компактні багатоволоконні пучки. До недоліків – складність монтажу та дещо нижча стійкість ВОК до згинів, осьових закручувань та розтягуючих зусиль.

З поширенням концепції FTTH виникла потреба у малогабаритних, гнучких ВОК для прокладання в помешканнях абонентів. Такі ВОК (рисунок 4.13) містять до двох ОВ у первинному захисному покритті або пару 2-х чи 4-ховлоконних СВЕ (стрічковий волоконний елемент) та силові елементи. Розробка такого кабелю не потребує спеціального інструменту, що значно зменшує час на монтаж. При необхідності ВОК може мати додаткових несучий елемент. Отже, тип осердя багато в чому визначає тип ВОК. Поверх осердя накладаються захисні покриття (оболонка, броня, силові елементи або їх комбінація). Захисне покриття визначається умовами застосування ВОК та відповідними чинниками довкілля [4.10]. Типове застосування захисних покриттів ВОК в залежності від умов застосування приведено у таблиці 4.2.

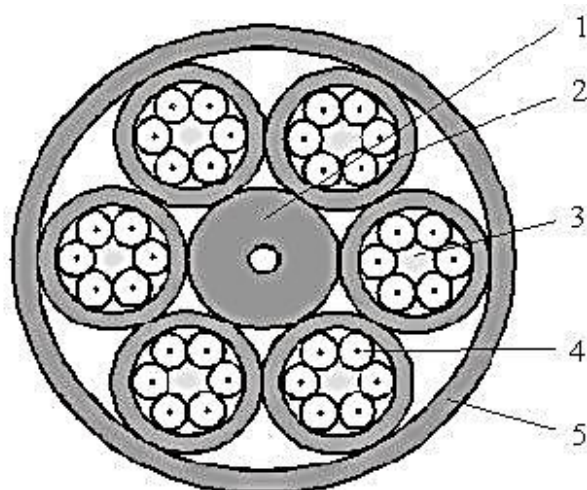


Рисунок 4.9 — 36-тиволоконний ВОК для внутрішнього прокладання

- 1 — центральний кордель в оболонці;
- 2 — суб-юніт (6-тиволоконний ВОК жорсткої конструкції в оболонці);
- 3 — арамідні нитки;
- 4 — ОВ в жорсткому буфері;
- 5 — захисна оболонка

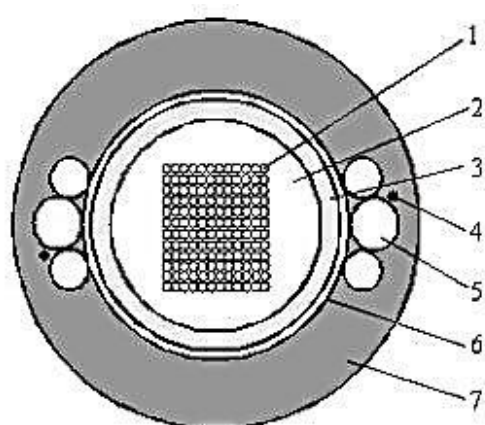


Рисунок 4.10 — Стрічковий ВОК з ЦТ для прокладання в кабельній каналізації.

- 1 — пакет зі стрічкових елементів;
- 2 — гідрофобний заповнювач;
- 3 — центральна захисна трубка;
- 4 — струна;
- 5 — силові елементи;
- 6 — водоблокуюча стрічка;
- 8 — ПЕ захисна оболонка

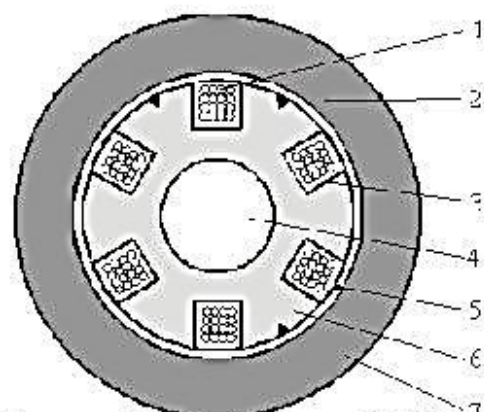


Рисунок 4.11 — Стрічковий ВОК з профільованим елементом для прокладання в кабельній каналізації

- 1 — пакет зі 4-х волоконних стрічкових елементів;
- 2 — маркуючі позначки;
- 3 — гідрофобний заповнювач;
- 4 — ЦСЕ;
- 5 — струна;
- 6 — профільований елемент;
- 7 — ПЕ захисна оболонка

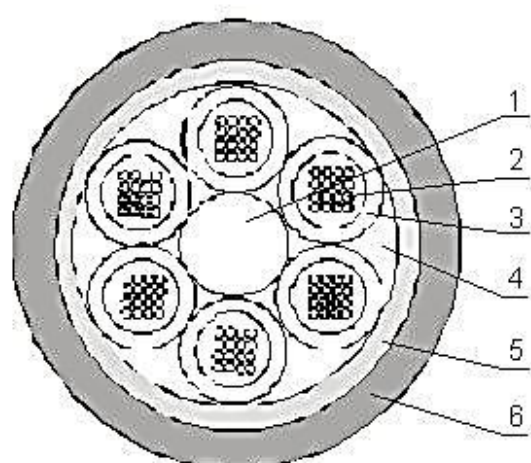


Рисунок 4.12 — Стрічковий ВОК модульної конструкції для прокладання в кабельній каналізації

- 1 — ЦСЕ;
- 2 — пакет зі 4-х волоконних стрічкових елементів;
- 3 — оболонка ОМ;
- 4 — гідрофобний заповнювач;
- 5 — силові елементи;
- 6 — захисна оболонка



Рисунок 4.13 — Абонентський ВОК

Таблиця 4.2 — Рекомендовані захисні покриття ВОК та їх застосування

Область застосування ВОК	Зовнішні фактори	Рекомендований тип захисного покриття
В кабельній каналізації та у захисних трубах	Не має	Пластмасова оболонка
В захисних трубах	Гризуни та удари блискавки	Пластмасова оболонка
		Сталева гофрована броня з пластмасовою захисною оболонкою
В тунелях	Не має	Пластмасова оболонка, що не розповсюджує горіння або не виділяє галогенів
	Гризуни	Сталева гофрована броня з пластмасовою захисною оболонкою, що не розповсюджує горіння або не виділяє галогенів
Безпосередньо в ґрунт	Удари блискавки	Пластмасова оболонка, сталева гофрована броня з пластмасовою захисною оболонкою
		Сталева гофрована броня з пластмасовою захисною оболонкою
	Гризуни та удари блискавки	Пластмасова оболонка, сталева гофрована броня з пластмасовою захисною оболонкою
		Пластмасова оболонка, сталева стрічкова броня та пластмасова захисна оболонка
		Сталева гофрована броня з пластмасовою захисною оболонкою
Через водні перешкоди	Не має	Металева оболонка, пластмасова захисна броня
		Пластмасова оболонка, металева броня з пластмасовою захисною оболонкою
	Підводні течії та судові якоря	Металева оболонка, пластмасова захисна оболонка та одно-, дво- або тришарова круглodrотова броня
		Пластмасова оболонка, металева броня, пластмасова захисна оболонка та одно-, дво- або тришарова круглodrотова броня
Підвісні	Не має	Самонесучі: шар арамідних ниток, пластмасова оболонка; пластмасова(і) оболонка(и), шар(и) арамідних ниток, пластмасова оболонка
		ВОК з несучим елементом (броньовані та неброньовані)
		Несамонесучі ВОК (броньовані та неброньовані)
Підвісні	Удари блискавки	Самонесучі: шар арамідних ниток, пластмасова оболонка; пластмасова(і) оболонка(и), шар(и) арамідних ниток, пластмасова оболонка
		ВОК з несучим елементом (броньовані та неброньовані)
		Несамонесучі ВОК (броньовані та неброньовані)
Підвісні	Птахи, комахи, гризуни та удари блискавки	Самонесучі: металева оболонка, шар арамідних ниток, пластмасова оболонка;
		Металева оболонка, пластмасова(і) оболонка(и), шар(и) арамідних ниток, пластмасова оболонка
		Броньовані ВОК з несучим елементом
		Несамонесучі броньовані ВОК
Всередині приміщень	Не має	Пластмасова оболонка, що не розповсюджує горіння або не виділяє галогенів

Максимальна ємність ВОК різних конструкцій показана в Таблиці 4.3 [4.9].

Тип ВОК	Кількість ОВ у ВОК							
	Від 12 до 24	Від 12 до 48	Від 12 до 96	Від 108 до 216	Від 240 до 288	Від 312 до 360	Від 384 до 432	Від 576 до 864
ВОК модульної конструкції: - типу Loose Tube - типу Flex Tube - з профільованим осердям								
Стрічкові ВОК: - з центральною трубою - з профільованим осердям								
ВОК з центральною захисною трубою								
ВОК з профільованим осердям								

4.3 Основні матеріали, що використовуються при виготовленні оптичних кабелів

При виготовленні ВОК крім ОВ використовуються наступні основні матеріали:

- фарби ("чорнила") для фарбування ОВ;
- заповнювачі (гідрофобні компаунди, порошки, водоблокуючі нитки та стрічки) для захисту ВОК від повздовжнього розповсюдження вологи;
- полібутилентерефталат, полікарбонат, поліамід для виготовлення оптичних модулів;
- поліетилентерефталатні стрічки для скріплення елементів осердя ВОК;
- поліетиленові композиції для виготовлення корделів;
- склопластикові стрижні, арамідні нитки, сталева проволока для силових елементів;
- алюмінієва та сталева стрічка для виготовлення комбінованих оболонок ВОК;
- поліетиленові композиції, полівінілхлоридні пластикати, поліуретани, поліаміди для виготовлення зовнішніх оболонок ВОК.

Характеристики основних матеріалів, що використовуються при виготовленні ВОК, приведені в таблиці 4.4 [4.4, 4.11].

Оптичні модулі головним чином виготовляються з полібутилентерефталату, полікарбонату та поліаміду, які мають механічні характеристики, що забезпечують захист ОВ, розміщених всередині ОМ, від зовнішніх впливів.

Корделі (конструктивні елементи заповнення осердя ВОК повивної скрутки, що використовуються в якості елементів заповнення осердя) виготовляються у вигляді суцільних стрижнів діаметром аналогічним діаметру оптичних модулів, з композицій поліетилену. В ряді випадків замість корделів можуть використовуватись оптичні модулі з гідрофобним заповненням, що не містять ОВ.

Таблиця 4.4 — Характеристики матеріалів, що використовуються для виготовлення ВОК

Матеріал	Модуль Юнга, Н/мм ²	Щільність, г/см ³	Коефіцієнт термічного розширення, 1/°К
Кварцове скло	72500	2,20	$5,5 \cdot 10^{-7}$
Полібутилентерефталат	1600	1,31	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Поліамід	1700	1,06	$7,8 \cdot 10^{-5}$
Полікарбонат	2300	1,20	$6,5 \cdot 10^{-5}$
Арамідне волокно	100000	1,45	$-2 \cdot 10^{-6}$
Склопластик	5000...6000	2,10	$6,6 \cdot 10^{-6}$
Сталь	200 000	7,85	$1,3 \cdot 10^{-5}$
ПЕНЩ (ПЕВТ)	200...300	0,918...0,925	$(1...2,5) \cdot 10^{-4}$
ПЕСЩ (ПЕСТ)	400...700	0,926...0,940	$(1...2,5) \cdot 10^{-4}$
ПЕВЩ (ПЕНТ)	1000	0,941...0,965	$(1...2,5) \cdot 10^{-4}$
ПВХ пластикат	60	1,31	$1,5 \cdot 10^{-4}$
Примітка. ПЕНЩ – поліетилен низької щільності, ПЕСЩ – поліетилен середньої щільності, ПЕВЩ – поліетилен високої щільності; ПЕВТ – поліетилен високого тиску; ПЕСТ – поліетилен середнього тиску; ПЕНТ – поліетилен низького тиску.			

Поліетилен, який широко використовується для виготовлення оболонок ВОК матеріал, виникає в результаті полімеризації етилену. Залежно від способу полімеризації має деякі наступні характеристики, що відрізняються між собою:

- поліетилен низької щільності ПЕНЩ (або поліетилен високого тиску за способом полімеризації – при тиску до 1500 кгс/см²) характеризується високими електричними властивостями;
- поліетилен високої щільності ПЕВЩ (поліетилен низького тиску за способом полімеризації – при тиску до 150 кгс/см², у присутності металоорганічних каталізаторів) характеризується високими механічними властивостями і більш гіршими, в порівнянні з ПЕНЩ, електричними властивостями;
- поліетилен середньої щільності ПЕСЩ має проміжні характеристики в порівнянні з ПЕНЩ і ПЕВЩ.

При виготовленні ВОК можуть бути використані рівноцінні матеріали і вироби різних виробників, що передбачається технічними умовами на виробництво конкретного типу ВОК.

4.3.1 Фарби (“чорнила”) для оптичних волокон

Зазвичай використовуються “чорнила” ультрафіолетового затвердіння, що наносяться на ОВ для їх кольорового кодування. “Чорнила” стійкі до хімічних матеріалів, що використовуються в конструкціях ВОК, тому забезпечують стійкість кольорового фарбування протягом всього терміну служби ВОК, не впливаючи на характеристики передавання ОВ. “Чорнила” прозорі для оптичного випромінювання, що забезпечує можливість використання систем юстирування LID (Local Injection and Detection – виявлення локального введення випромінювання) автоматичних апаратів для зварювання ОВ та можливість підключення до ОВ оптичних телефонів для організації службового зв’язку по ОВ в процесі будівництва та експлуатації.

Враховуючі, що в ОМ розміщується, як правило, до 12 ОВ, для їх фарбування використовуються “чорнила” переважно наступних кольорів: блакитний, оранжевий, зелений, коричневий (брунатний), сірий, білий, червоний, чорний, жовтий, фіолетовий, рожевий, бірюзовий [4.12].

При розміщені в оптичному модулі ВОК від 14 до 36 ОВ фарбування ОВ виконується, як правило, тими ж кольорами, однак з нанесенням на ОВ з номерами від 13 до 24 додаткової суцільної кольорової смужки, а на ОВ з номерами від 25 до 36 з нанесенням додаткової штрихової кольорової смужки.

Фірма DCM Desotech (Нідерланди) виготовляє “чорнила” серії Cablelite 751 для забарвлення ОВ (табл. 4.5). “Чорнила” випускаються шістнадцятьма кольорів.

Таблиця 4.5 — Основні характеристики “чорнил”

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Міцність на розтягування	МПа	25...30
Видовження (еластичність)	%	2...4
Модуль пружності при 2,5% еластичності	МПа	1450...1650
Випарність	%	1
Температура спалаху	°C	>93
В’язкість при 25°C	МПа·с	1700...2500

4.3.2 Гідрофобні заповнювачі

В якості гідрофобних заповнювачів переважно використовують гідрофобні желеподібні компаунди. Заповнювачі на основі порошкоподібних матеріалів, ниток та стрічок (виконуються, головним чином, на основі розпушеної целюлози, що розбухає при контакті з водою і утворює “пробку” для подальшого її розповсюдження) використовують значно рідше (гідрофіли)

Гідрофобні компаунди, що використовуються в якості заповнювачів ОМ, окрім задач захисту ОВ від впливу вологи виконують також функцію амортизатора для ОВ при механічних впливах на ВОК, а також функцію мастила, що зменшує тертя між ОВ та стінкою ОМ.

Гідрофобні заповнювачі відрізняються діапазоном робочих температур та призначенням: внутрішньомодульні заповнювачі, що використовуються для заповнення модулів з ОВ, та міжмодульні заповнювачі, що використовуються для заповнення вільного простору в осерді ВОК та в бронепокривах.

Внутрішньомодульні заповнювачі характеризуються більш високими вимогами і мають меншу в'язкість у порівнянні з міжмодульними заповнювачами.

Гідрофобні заповнювачі марки TFC фірми MWO GmbH (Німеччина) – надчисті, тиксотропні продукти з низькою в'язкістю та високою прозорістю. Вони виготовляються двох типів: TFC 1529 та TFC 1129 (табл. 4.6). Заповнювачі TFC сумісні з матеріалами, що використовуються в ВОК.

Заповнювач типу TFC 1529 – нестікаючий компаунд, має стабільні характеристики до мінус 40°C. Вільний від силіконових масел.

Заповнювач типу TFC 1129 – нестікаючий компаунд зі стабільними характеристиками до мінус 60°C. Вільний від силіконових масел.

Таблиця 4.6 — Основні технічні характеристики заповнювачів марок TFC 1529 та TFC 1129

Параметр	Одиниця виміру	TFC 1529	TFC 1129
В'язкість при 25°C	мПа·с	7000...8000	6200...6800
Конусна penetрація при: +25°C –40°C	мм/ 10	300...400 300...400	200...260 250...320
Масловідділення, 24 г при 80°C	%	Не має	Не має
Летючість, 24 г при 80°C	%	<0,2	<0,2
Щільність, при 25°C	г/см ³	0,83	0,82
Температура спалаху	°C	>220	>230

Гідрофобні заповнювачі фірми Henkel KGaA (Німеччина) марок Macroplast CF 250, 300 та 320 використовуються для заповнення модулів з ОВ. Заповнювачі цих марок можуть вводиться в ВОК при нормальній температурі, краплепадіння відсутнє при температурі до 100°C. Заповнювачі не впливають на ОВ, сумісні з полімерними матеріалами ВОК, залишаються в'язкими при температурі до мінус 80°C, не містять силікону та неорганічних наповнювачів.

Гідрофобний заповнювач марки Macroplast CF 290 (табл. 4.7) призначається для заповнення міжмодульного простору та захищає елементи ВОК від впливу вологи. Виготовлюється на основі вуглеводнів та синтетичних полімерів. Колір заповнювача янтарний.

Нетоксичні гідрофобні заповнювачі Naptel фірми BPLC (Франція) призначаються для внутрішньомодульного (Naptel 308) та міжмодульного (Naptel 851, 842, 827, 867) заповнення ВОК. Виробляються на основі поліізобутилену з додаванням воску (табл. 4.8, 4.9). Виготовляються у вигляді гомогенного в'язкого гелю білого кольору.

Таблиця 4.7 — Основні технічні характеристики заповнювача Macroplast CF 290

Параметр	Одиниця виміру	Значение
Конусна penetрації при: + 22°C – 10°C – 20°C	мм/ 10	240 215 175
Масловідділення, 24 г при + 150°C	%	5
Щільність при + 20°C	г/см ³	– 0,88
Температура спалаху	°C	>230

Таблиця 4.8 — Основні технічні характеристики гідрофобного заповнювача Naptel 308

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Температура краплепадіня	°C	>250
В'язкість при + 20°C: 2 об/хв 5 об/хв 10 об/хв	0,1 Па·с	150000 70000...90000 40000... 54000
Щільність при + 20°C	г/см ³	0,89...0,90
Температура спалаху	°C	>200
Діелектричні втрати при + 20°C, 50 Гц, 5000 В/см	—	< 10 ⁻⁴
Електричний опір при + 20°C (от 50 Гц до 1 МГц)	Ом·см	>10 ¹⁶
Відносна діелектрична проникність при + 20°C	—	<3

Таблиця 4.9 — Основні технічні характеристики гідрофобних заповнювачів Naptel 851,842, 827, 867

Параметр	Одиниця виміру	851	842	827	867
Температура краплепадіня	°C	90	80	70	90
В'язкість при + 120°C	сСт	75...90	175...225	75...100	100...150
Температура спалаху	°C	175	230	200	220
Діелектричні втрати при +23°C	—	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴	10 ⁻⁴
Електричний опір при + 23°C	Ом·см	1016	1016	1016	1016
Відносна діелектрична проникність при + 23°C	—	2,3	2,3	2,3	2,3

Водоблокуючі тиксотропні компаунди фірми BP GSP (Великобританія) марок Optifill 5300, 5270 призначені для внутрішньомодульного, а компаунди Optifill 5209 і Insojell – для міжмодульного заповнення ВОК. Робочий діапазон температур від мінус 60°C до плюс 150°C. Компаунди Optifill виготовляються у вигляді гелю з синтетичних матеріалів на основі мінеральних масел з інертними заповнювачами (таблиця 4.10).

Таблиця 4.10 — Основні технічні характеристики компаундів Optifill 5300, 5270, 5209

Параметр	Одиниця виміру	5300	5270	5209
Щільність при +20°C	г/см ³	0,85	0,85	0,90
Температура спалаху	°C	—	230	230
В'язкість при +20°C	мПа·с	9000...11000	9000...11000	20000...24000
Критична межа плинності при +20°C		35	25	—

Компаунди Insojell 4822 та 5724 застосовуються для міжмодульного заповнення осердя ВОК і виготовляються на основі мінерального масла та воску (табл. 4.11).

Таблиця 4.11 — Технічні характеристики компаундів Insojell

Параметр	Одиниця виміру	4822	5724
Температура краплепадіння	°C	більше 73	100
Конусна пенетрація при + 25 °C	0,10 мм	70.. .90	160
Конусна пенетрація при + 10 °C	0,10 мм	>30	—
Кінематична в'язкість при + 100 °C	сСт	13...20	—
Температура спалаху	°C	>230	>230
Питомий об'ємний опір при + 100 °C	Ом·см	>10 ¹²	>10 ¹²
Питомий об'ємний опір при + 23 °C	Ом·см	>10 ¹⁵	>10 ¹⁵
Відносна діелектрична проникність при + 23 °C	—	<2,3	<2,3

Водоблокуючі стрічки або нитки компанії Geca-Torpes (Нідерланди) використовуються для отримання так званого “сухого водозахищеного кабелю”. Зазвичай для цього дві водоблокуючі нитки розміщуються навколо ЦСЕ; одна водоблокуюча стрічка навколо осердя; шар з водоблокуючої пряжі використовують в якості підсилюючого силового елемента.

Основні технічні характеристики водоблокуючих ниток та стрічок компанії Geca-Torpes приведено в таблицях 4.12, 4.13.

Таблиця 4.12 — Основні технічні характеристики водоблокуючих ниток марки GTB

Параметр	Одиниця виміру	GTB 50	GTB 100	GTB 150	GTB 10	GTB 20	GTB 35
Питома маса	г/100 м	20	10	6,7	100	50	25
Міцність на розрив	Н	20	9	7	56	36	28
Відносне видовження	%	11	11	11	8	10	10
Швидкість водопоглинання	мг/хв	15	15	15	32	40	28
Короткочасна термостійкість	°C	230	230	230	230	230	230
Тривала робоча температура	°C	150	150	150	150	150	150

Таблиця 4.13 — Основні технічні характеристики водоблокуючих стрічок GFS FreeSwell

Параметр	Одиниця виміру	1110	1120	1130	1140	GTI TopSweU 1240
Маса на одиницю площі	г/м ²	50	56	68	87	117
Товщина	мм	0,17	0,20	0,23	0,25	0,34
Міцність на розрив	Н/см	25	25	25	25	35
Відносне видовження	%	11	11	11	11	11
Швидкість водопоглинання	мг/хв	2,5	4	7	10	10
Висота набухання	мг/3 хв	4	6	10	15	15
Короточасна термостійкість	°С	200	200	200	200	230
Тривала робоча температура	°С	90	90	90	90	90

Водоблокуюча стрічка фірми Lantor (Нідерланди) типу 3E5410 з максимальною температурою експлуатації 90°С використовується в ВОК з “сухим” осердям. Її розміщують в щілинах між конструктивними елементами осердя, а також у щілинах захисних покривів. Основні технічні характеристики водоблокуючої стрічки типу 3E5410 приведено в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 — Водоблокуюча стрічка типу 3E5410

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Товщина	мм	0,25
Маса на одиницю площі	г/м ²	60
Міцність на розрив	Н/см	40
Відносне видовження	%	14
Швидкість набухання	мм/хв	7
Висота набухання	мм	8

4.3.3 Матеріали для скріплювання елементів осердя ВОК

Основним матеріалом для скріплювання елементів осердя ВОК повівної скрутки є поліетилентерефталатна стрічка, яка забезпечує фіксацію елементів осердя до накладання полімерної оболонки і попереджує витікання з осердя гідрофобного заповнювача.

Плівка поліетилентерефталатная марки ПЕТ-Е виготовляється відповідно до ГОСТ 24234 [4.13] і призначається для скріплювання конструктивних елементів ВОК (таблиця 4.15). Вона може експлуатуватися при температурі від мінус 65°С до плюс 155°С.

Таблиця 4.15 — Основні технічні характеристики плівки марки ПЕТ—Е

Параметр	Одиниця виміру	Значення для плівки товщиною, мкм										
		12	20	25	35	50	70	100	125	175	190	250
Щільність	г/см ³	1,390... 1,400										
Межа міцності, не менше	МПа	172	172	172	177	177	177	177	177	177	157	157
Відносне видовження при розриві, не менше	%	70	70	70	70	80	80	100	100	100	100	100
Питомий об'ємний електричний опір, не менше	Ом·м	1014										
Електрична міцність при + 23°C, 50 Гц, не менше	кВ/м	80	90	90	120	140	140	170	170	220	220	220

4.3.4 Матеріали для силових елементів ВОК

Як ЦСЕ у ВОК повівної скрутки використовують склопластикові стрижні, сталевий дріт або трос з полімерним покриттям. З метою підвищення стійкості до зовнішніх електромагнітних впливів ВОК, призначених для прокладання в ґрунт, в якості матеріалу ЦСЕ переважно використовується склопластиковий стрижень.

Сталевий дріт використовується в бронепокривах ВОК, що прокладаються в ґрунт (у тому числі в скельний ґрунт і ґрунт, схильний до мерзлотних явищ). Використання дроту забезпечує вищу стійкість ВОК до розтягувальних і роздавлюючих зусиль. Застосування сталевих дротів в якості силових елементів та броні спрощує трасопошукові роботи.

Склопластикові стрижні і арамідні нитки (найбільш відомі торгівельні марки арамідних ниток – “кевлар” і “тварон”) застосовують, в основному, як силові елементи діелектричних ВОК, призначених для підвішування на опорах ЛЕП, опорах контактної мережі електрифікованих залізниць, а також для ВОК, призначених для прокладки в умовах сильного електромагнітного впливу.

Матеріали Twaron виготовляються фірмою Acordis Twaron Products (Нідерланди) (табл. 4.16). В практиці виробництва ВОК використовуються:

- арамідні волокна Twaron 2200 та Twaron 1055;
- водоблокуючі арамідні нитки Twaron 1052 (покріті суперабсорбуючими полімерами), застосовують для розміщення біля ОБ;
- ріпкорд Twaron 1005 і Twaron 1006, розміщують під зовнішньою полімерною оболонкою ВОК для полегшення її зняття;

- композит арамідних ниток і епоксидної смоли (склопластиковий стрижень) розміщують в центрі ВОК модульної конструкції;
- арамідні стрічки використовуються для зовнішньої обмотки підвісних ВОК для їх захисту від пошкодження пострілами з мисливської зброї.

Таблиця 4.16 — Основні технічні характеристики арамідних волокон Twaron

Параметр	Одиниця виміру	2200	1055
Щільність	г/см ³	1,45	1,45
Розривне зусилля	МПа	2900	2900
Видовження при розриві	%	2,7	2,5
Модуль пружності	ГПа	115	125

Полістал-композити виробництва фірми Polystal Composites GmbH (ФРН) мають високі міцності характеристиками і гнучкість, діелектричні властивості, низьку щільність і оптимальний коефіцієнт теплового розширення. Як основа композиційних силових елементів використовуються скловолокно або арамідні волокна, а як зв'язуючі матеріали смоли, термопластичні матеріали тощо. Залежно від матеріалу основи і зв'язуючого матеріалу розрізняють полістал-композити трьох типів: Р, Е і А (таблиця 4.17). Матеріалом основи для типів Р і Е служить скловолокно, а для типа А – арамідні волокна.

Таблиця 4.17 — Основні технічні характеристики полістал—композитів

Параметр	Одиниця виміру	Р	Е	А
Щільність	г/см ³	2,1	2,1	1,45
Вміст скловолокна (арамідного волокна)	%	80	83	70
Видовження при розриві	%	>2,8	>2,8	2,2
Модуль пружності	Н/мм ²	> 50000	60000	> 75000
Межа міцності при розтягуванні	Н/мм ²	>1500	1700	>2000
Коефіцієнт теплового розширення	1/°C	$6,6 \cdot 10^{-6}$	$4,4 \cdot 10^{-6}$	$2,0 \cdot 10^{-6}$

Полістал-композити випускаються у вигляді круглого прутка діаметром від 0,5 мм до 16 мм, розривна міцність складає відповідно від 300 Н до 285600 Н.

Сталевий оцинкований дрід круглого перетину використовується для бронювання ВОК і виготовляється відповідно до вимог ГОСТ 1526 [4.14]. Дрід випускається 20 типорозмірів: діаметром 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 0,80; 1,00; 1,20; 1,40; 1,60; 1,80; 2,00; 2,20; 2,40; 2,50; 2,60; 2,80; 3,00; 4,00; 5,00 та 6,00 мм.

Цинкове покриття дроту має бути суцільним, без пропусків, тріщин. Воно не повинне розтріскуватися і відшаровуватися при спіральному навиванні дроту на циліндричне осердя. При діаметрі дроту від 0,30 мм до 0,50 мм відношення діаметру осердя до діаметру дроту має дорівнювати 4, а для дроту діаметром від 0,50 мм до 6,00 мм – 6.

Дріт постачається в мотках з одного відрізка або на катушках. Маса дроту в мотках залежно від її діаметру та довжини складає від 1,5 кг до 40 кг, а на катушках від 1,5 кг до 100 кг. Зазвичай дріт вкривається маслом консервації, але на вимогу споживача він може постачатись без консервації.

4.3.5 Матеріали для комбінованих оболонок (алюмінієві та сталеві стрічки з полімерним покриттям)

Алюмополіетіленові (АЛПЕТ) та сталь-поліетіленові (СТАЛПЕТ) оболонки ВОК забезпечують захист кабелю від поперечної дифузії вологи через полімерні оболонки. Вони застосовуються при виготовленні ВОК, призначених для експлуатації у воді (що прокладаються в затоплюваній водою кабельної каналізації, болотах, через водні перешкоди, тощо). Наявність у ВОК комбінованої оболонки спрощує також проведення трасопошукових робіт, а вживання оболонки “сталь-поліетилен” забезпечує підвищення стійкості ОК до дії гризунів.

Сталеві стрічки з двостороннім полімерним покриттям фірми Dow Chemical (США) призначені для виготовлення сталь-поліетіленових оболонок ВОК, забезпечують захист від механічних дій, гризунів, а також поперечної дифузії вологи. Поставляються стрічки трьох типів: Zetabon S252, S262 і S2102 (таблиця 4.18).

Таблиця 4.18 — Загальні технічні характеристики сталевих стрічок Zetabon

Параметр	Одиниця виміру	S252	S262	S2102
Товщина стрічки	мм	$0,115 \pm 0,012$	$0,155 \pm 0,015$	$0,251 \pm 0,023$
Товщина полімерного покриття	мм	$0,058 + 0,013$	$0,058 + 0,013$	$0,058 + 0,013$
Площа поверхні на 1 кг ваги	м ² /кг	0,989	0,754	0,479

Сталева стрічка виготовляється з низьковуглецевої сталі і має хромове покриття. На стрічку з обох боків наноситься полімерне покриття. Стрічка Zetabon накладається на осердя ВОК поздовжньо з перекриттям безпосередньо перед нанесенням (екструзією) зовнішньої полімерної оболонки. В процесі нанесення зовнішньої оболонки полімерне покриття сталеві стрічки розплавляється, утворюючи надійне зчеплення між сталеві стрічкою і зовнішньою полімерною оболонкою, а також герметизує повздовжній шов в області перекриття стрічки Zetabon.

Алюмінієва стрічка (таблиця 4.19) використовується в конструкціях ВОК з поліетіленовими оболонками для захисту від поперечної дифузії вологи.

Таблиця 4.19 — Основні технічні характеристики стрічки Dozakl

Параметр	Одиниця виміру	Значення
Товщина алюмінієвої стрічки	мм	0,10...0,15
Товщина поліетиленового покриття	мм	0,045... 0,050
Розривне зусилля	МПа	50
Відносне видовження	%	<22

Клеї-розплави використовуються в конструкціях ВОК для склеювання арамідних ниток із зовнішньою поліетиленовою оболонкою або для склеювання алюмінієвої або сталевий стрічки з полімерним покриттям. Для склеювання або герметизації арамідних волокон або алюмінієвої стрічки з поліетиленом використовуються клеї-розплави фірми Henkel KGaA (Німеччина) марок Macromelt 6735 або Macromelt TPX 20-315. Стрічка з гофрованої сталі з поліетиленом високої щільності склеюється клеєм-розплавом Macromelt Q 3265 (таблиця 4.20).

Таблиця 4.20 — Основні технічні характеристики клеїв—розплавів марки Macromelt

Параметр	Одиниця виміру	Q3265	6735	TPX 20-315
Склад		Термопластичні сополімери	Поліамід	Поліамід
Колір		Жовтоватий	Янтарний	Янтарний
Температура розм'якчення	°C	105±7	105±5	105±5
В'язкість при температурі: + 160°C + 170°C + 180°C + 190°C + 200°C + 210°C	мПа·с	5000±1200 3500±500 3000±550 2100±450 1700±400 —	— 19500±4500 13500±3000 9500±2000 6500±1500 4500±1000	48000±12000 — 22000±5000 — 11000±3000 —
Міцність на відшаровування при склеюванні: Al/Al Al/Al (покри-тий сополіме-ром) ПЕ/ПЕ + 22°C ПЕ/ПЕ + 60°C	Н/см	22 58 — —	— — — —	— — 200 100
Опір повзучості	°C	65±5	80±5	85±5
Гнучкість при низькій температурі	°C	—	-30±5	-30±5

4.3.6 Матеріали для виготовлення оболонок ВОК

Порівняльні характеристики полімерних матеріалів, що використовують для виготовлення ВОК, приведені в таблиці 4.21 [4.11, 4.15].

Таблиця 4.21 — Порівняльні характеристики полімерних матеріалів

Характеристика	ПЕНЦ	ПЕВЦ	ПВХ	ПА	ПУ
Стійкість до окислення	+++	+++	+++	+++	+++
Стійкість до високих температур	++	+++	++/+++	+++	++
Стійкість до нафтопродуктів	++/+++	++/+++	+	+++	++
Гнучкість при низьких температурах	+++	+++	—/+	++	++
Стійкість до атмосферного впливу	+++	+++	++/+++	+++	++
Стійкість до впливу озону	+++	+++	+++	+++	+++
Абразивна стійкість	++	+++	+ / ++	++++	++++
Електричні характеристики	+++	+++	+ / ++	—	—
Стійкість до горіння	—	—	+++	—	—
Стійкість до впливу радіації	++/+++	++/+++	+	+ / ++	++
Водопоглинення	+++	+++	+ / ++	—/+	—/++
Стійкість до впливу кислот	++/+++	+++	++/+++	—/+	+
Стійкість до впливу лугу	++/+++	+++	++/+++	+++	+
Стійкість до впливу бензину, гасу та ін. аліфатичних гідрокарбонатів	++/+++	++/+++	—	++	—/++
Стійкість до впливу розчинників	++	++	—/+	+++	—/++
<p>Примітка. ПЕНЦ – поліетилен низької щільності, ПЕВЦ – поліетилен високої щільності, ПВХ – полівінілхлоридний пластикат, ПА – поліамід, ПУ – поліуретан. «—» низька, «+» середня, «++» добра, «+++» висока, «++++» відмінна. Приведені оцінки полімерів основані на усереднених даних матеріалів загального застосування. Характеристики можуть бути іншими при застосуванні спеціальних композицій полімерів.</p>					

Для виготовлення оболонок ВОК застосовують поліетиленові композиції, в які вводять різні компоненти для підвищення стійкості матеріалу до старіння, до сонячної радіації тощо. Зокрема, підвищення стійкості поліетилену до сонячної радіації найчастіше забезпечується за рахунок введення газової сажі в об'ємі близько 3%, у зв'язку з чим зовнішні поліетиленові оболонки ВОК мають переважно чорний колір. Одним з недоліків поліетилену є його горючість, тому ВОК з поліетиленовими оболонками використовуються лише для зовнішньої прокладки. Застосовувати їх для кабелів, що прокладаються усередині будівель, в колекторах і тунелях, не можна з міркувань пожежної безпеки. Розривна міцність поліетилену складає 10...12МПа, відносне видовження при розриві 400...500%, температура плавлення 110...130°C.

Поліетиленові композиції, що мають стійкість до поширення горіння, отримують переважно за рахунок введення в них досить великого об'єму (до 50%) тригідрооксиду алюмінію $\text{Al}(\text{OH})_3$. При температурі понад 200°C тригідрооксид алюмінію розкладається на негорючий окисел алюмінію Al_2O_3 і

воду (у вигляді водяної пари), завдяки чому температура падає, а концентрація горючої пари і кисню зменшується. ВОК з такими оболонками відносяться до категорії кабелів з оболонками, що не поширюють горіння, і призначені для прокладки в тунелях, колекторах і всередині будівель.

Полівінілхлоридний пластикат застосовується переважно для виготовлення оболонок станційних ВОК, оскільки забезпечує нерозповсюдження горіння і дозволяє виготовляти оболонки ВОК високої гнучкості. До недоліків матеріалу відноситься можливість міграції пластифікаторів в інші елементи конструкції, висока гігроскопічність, виділення диму і хлору при дії полум'я, з утворенням задушливих газів і пари соляної кислоти через взаємодію хлору, що виділяється при горінні, з вологою повітря. Як правило, робочий діапазон температур ВОК з оболонками з ПВХ пластикату складає $-10...+70^{\circ}\text{C}$. При нижчих температурах жорсткість матеріалу різко збільшується, при вищих також відбувається збільшення жорсткості за рахунок випаровування пластифікаторів з матеріалу.

Поліамід (широко вживані його торгівельні назви – капрон, нейлон) застосовують як додаткове покриття зовнішньої оболонки ОК з метою підвищення стійкості до абразивної дії, до хімічних речовин, а також дії гризунів і термітів. Оболонки з поліаміду залишаються гнучкими при температурах $-40...+90^{\circ}\text{C}$, розм'якшення їх відбувається при температурі більш $+150^{\circ}\text{C}$.

Поліуретани найбільш коштовні полімери і тому найменш широко використовувані при виготовленні оболонок ВОК. Вони відзначаються добрими механічними характеристиками (розривна міцність 30...55 МПа, відносне видовження при розриві 400...700%), високою абразивною стійкістю, високою гнучкістю, стійкістю до хімічних сполук, до окислення. Основна область застосування — військово-польові кабелі та кабелі для рухливих з'єднань машин та механізмів.

Характеристики деяких поліетиленових композицій, використовуваних в конструкціях ОК зв'язку, приведені в таблицях 4.22, 4.23, 4.24.

Таблиця 4.22 — Марки поліетиленів

Призначення	ГОСТ, фірма—виробник	Марка поліетилену
Для оболонок ВОК	ГОСТ 16336	102—10К, 153—10К, 178—10К
Для оболонок внутрішньооб'єктових ВОК (композиції, що не підтримують горіння)	Фірма Borealis	HE 6067, HE 6062, ME 6052
Для ізоляції дротів	Теж саме	FR4810
Для оболонок діелектричних ВОК підвишуваних на опорах ЛЕП (композиції, стійкі до електрокорозії)	Теж саме	ME 6080, ME 6081

Таблиця 4.23 — Основні технічні характеристики поліетиленів за ГОСТ 16336 [4.16]

Параметр	Одиниця виміру	102—10К	153—10К	178—10К
Щільність	г/см ³	Не нормується		
Показник плинності розплаву	г/ 10 хв	0,24...0,36	0,21...0,39	1,05...1,95
Межа плинності при розтягуванні	МПа	>11,3	>11,3	>9,3
Межа міцності	МПа	>14,7	>13,7	>11,7
Відносне видовження при розриві	%	>600	>600	>600
Стійкість до розтріскування	год	>500	>500	>2,5
Стійкість до термоокислювального старіння	год	>8	>8	>8
Стійкість до фотоокислювального старіння	год	500	500	500

Таблиця 4.24 — Основні технічні характеристики поліетиленів фірми Borealis

Параметр	Одиниця виміру	HE 6067	HE 6062	ME 6052	FR 4810	ME 6080	ME 6081
Щільність	г/м ³	0,954	0,954	0,944	1,270	1,10 0	1,100
Показник плинності розплаву	г/ 10 хв	1,7	0,5	0,7	0,1	0,2	0,4
Межа міцності	МПа	20	25	25	200	20	200
Відносне видовження при розриві	%	800	700	700	500	400	500
Стійкість до розтріскування	год	1000	2000	2000	1000	1000	2000
Температура крихкості	°С	-76	-76	-76	-35	-50	-80
Модуль пружності на згин	МПа	850	850	600	—	850	—
Питомий об'ємний опір	Ом·см	10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁶	5·10 ¹⁶	—	—

4.4 Вимоги до пакування, маркування, транспортування та зберігання ВОК

ВОК поставляються на дерев'яних барабанах, однієї будівельної довжини, з діаметром шийки барабану не менше 40 номінальних зовнішніх діаметрів кабелю.

Дерев'яні барабани [4.17] призначені для намотки та транспортування кабелів та проводів. Конструкція барабанів показана на рисунку 4.15, а данні о розмірах приведені в таблиці 4.25. Номер барабана відповідає діаметру щокі в дециметрах.

Для захисту зовнішніх витків кабелю, що намотані на барабан, від механічних пошкоджень при транспортуванні та зберіганні застосовують обшивку барабанів або пакування матами.

Зазвичай, основним способом обшивки є накладення на краї щік суцільного ряду дощок та кріплення їх цвяхами через сталеву стрічку, що обтягує обшивку по краях. Іноді, за згодою між споживачем та постачальником,

може виконуватись часткова обшивка, при якій проміжки між дошками складають не більше 50% від їх ширини.

Таблиця 4.25 – Розміри та маси дерев'яних кабельних барабанів [4.17]

Номер барабана	Діаметр, мм			Довжина шийки L , мм	Товщина щоки S , мм	Маса, кг
	щоки, $D_{щ}$	шийки, $D_{ш}$	осьового отвору, $D_{от}$			
8	800	450	50	230	38	43
8a	800	450	50	400	38	51
8б	800	450	50	500	38	96
10	1000	545	50	500	50	180
10a	1000	500	50	710	50	132
12	1200	650	70	500	50	180
12a	1200	650	70	710	50	217
14	1400	750	70	710	58	290
14a	1400	900	70	500	58	308
16a	1600	800	80	800	58	367
17	1700	900	80	900	70	535
18	1800	1120	80	900	80	420
20	2000	1220	80	1000	90	763
22	2200	1320	100	1000	118	965

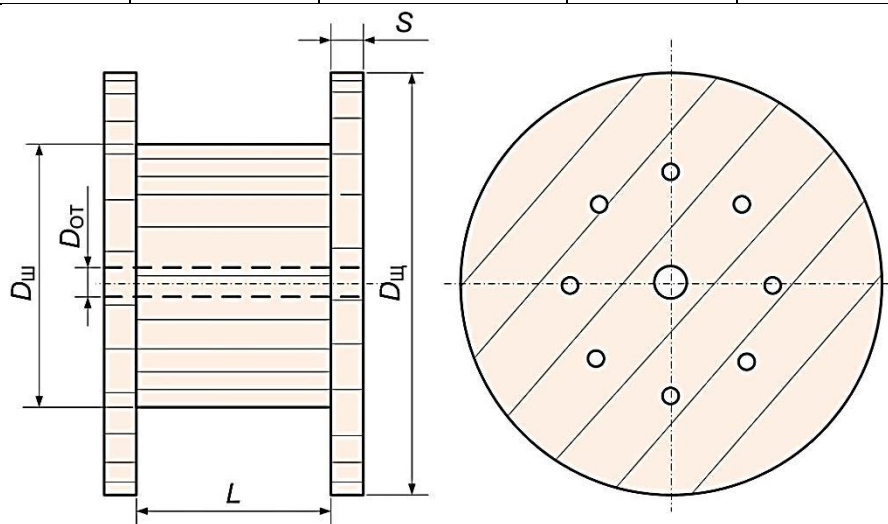


Рисунок 4.15 – Дерев'яні кабельні барабани

Нижній кінець кабелю довжиною не менше 3 м повинен бути виведеним на внутрішню сторону щоки барабану. Дозволяється нижній та верхній кінці кабелю виводити на зовнішню сторону щоки барабану. При цьому вони повинні бути закріплені та захищені від механічних пошкоджень.

Кінці кабелю повинні бути захищені від проникнення вологи всередину кабелю (наприклад за допомогою пластмасових ковпачків).

На зовнішній стороні щоки барабану либонь на ярлику, який прикріплюється до барабану, повинні бути зазначені:

- товарний знак, код або найменування підприємства-виробника;
- умовне позначення кабелю;
- позначення технічних умов;

- місяць та рік виготовлення;
- довжина кабелю в метрах;
- маса брутто в кілограмах;
- номер заводських випробувань кабелю;
- номер замовлення або договору на постачання.

В документі про якість (паспорті) на кабель, повинні бути зазначені:

- найменування підприємства-виробника кабелю;
- умовне позначення;
- позначення технічних умов;
- довжина кабелю в метрах;
- номер заводських випробувань кабелю;
- мірні мітки початку та кінця будівельної довжини;
- коефіцієнт загасання кожного ОВ на опорних (робочих) довжинах хвиль;
- коефіцієнт хроматичної дисперсії одномодових ОВ або коефіцієнт широкополосності багатомодових ОВ;
- показник заломлення ОВ;
- тип покриття ОВ;
- виробник ОВ;
- результати вимірювання електричного опору (при наявності металевих елементів);
- місяць та рік виготовлення.

В документі про якість (паспорт) має бути проставлено штамп (клеймо) технічного контролю та знак відповідності для сертифікованої продукції.

Документ про якість (паспорт) має знаходитись в поліетиленовому пакеті, що кріпиться на внутрішній стороні щоби барабану. Місце розміщення документу про якість (паспорту) має бути вказано на щоби барабану написом «Документація».

Транспортне маркування барабану з кабелем [4.18] має містити наступні попереджувальні написи та знаки, які наносяться на обидві щоби барабану:

- напис «Не класти на щоби»;
- напис «Крихке. Обережно»;
- маніпуляційний знак №1 «Крихке. Обережно»;
- позначений стрілкою дозволений напрямок перекочування барабану з кабелем.

Довжина кабелю, що намотується на барабан залежить від номеру кабельного барабану та діаметру кабелю. Розрахункові довжини кабелів на барабанах подані у таблиці 4.26.

Таблиця 4.26– Розрахункова довжина кабелю на барабані

Діаметр кабелю, мм	Номер барабану										
	8	8a	10	12	14	16	16a	17	18	20	22
5	2650	3915	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1840	2510	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	1350	1845	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	1035	1410	3100	-	-	-	-	-	-	-	-
9	820	1115	2450	-	-	-	-	-	-	-	-
10	660	905	2000	3096	-	-	-	-	-	-	-
11	550	750	1650	2560	-	-	-	-	-	-	-
12	460	630	1400	2150	-	-	-	-	-	-	-
13	390	535	1200	1830	3720	-	-	-	-	-	-
14	340	460	1000	1580	3210	-	-	-	-	-	-
15	295	400	900	1375	2795	1695	4493	-	-	-	-
16	260	355	775	1210	2455	1490	3949	3310	-	-	-
17	230	315	690	1070	2175	1320	3498	2930	3510	-	-
18	205	280	615	955	1940	1177	3120	2615	3130	-	-
19	185	250	550	860	1740	1056	2800	2350	2810	-	-
20	165	225	500	775	1570	953	2527	2120	2540	-	-
21	-	205	450	700	1425	865	2292	1920	2300	-	-
22	-	185	410	640	1300	788	2089	1750	2100	3080	-
23	-	170	375	585	1190	721	1911	1600	1920	2820	-
24	-	155	345	540	1100	662	1755	1470	1760	2590	-
25	-	145	320	495	1000	610	1617	1355	1625	2390	-
26	-	-	295	460	930	564	1495	1250	1500	2210	-
27	-	-	270	425	860	523	1386	1160	1390	2050	-
28	-	-	255	395	800	486	1289	1080	1295	1900	-
29	-	-	235	370	750	453	1202	1000	1205	1775	2260
30	-	-	200	345	700	423	1123	940	1130	1655	2110
31	-	-	-	320	655	396	1052	880	1055	1515	1975
32	-	-	-	300	615	372	987	830	990	1455	1855
33	-	-	-	285	580	350	928	785	940	1380	1760
34	-	-	-	270	550	330	874	740	885	1300	1655
35	-	-	-	250	515	311	825	690	830	1220	1550
36	-	-	-	240	485	294	780	655	785	1150	1465
37	-	-	-	225	450	278	738	620	740	1090	1390
38	-	-	-	215	435	250	700	585	700	1035	1315

На поверхні захисної оболонки кабелю на відстані 1 м мають бути нанесені тисненням, фарбою або іншим способом, який не виводить товщину захисної оболонки за межі норми відхилення, наступні маркувальні знаки [4.19]:

- марка кабелю (можна латинським шрифтом);
- тип ОВ, загальна кількість ОВ та дротів дистанційного живлення;
- найменування або код підприємства-виробника (або/та власника кабелю);
- рік виготовлення кабелю;

- символи належності до кабелів зв'язку (знак синусоїди та телефонної слухавки);
- мірні мітки довжини кабелю.

Перелік посилань до розділу 4

- 4.1 В.Б. Каток, І.Е. Руденко. Стійкість оптичних кабелів до впливів навколишнього середовища / – Зв'язок, № 5—6, 2008. – с. 24–28.
- 4.2 Refi J.J. Fiber optic cable – A LightGuide, abcTeleTraining, Geneva, Ill, 1991, 207p.
- 4.3 В.Б. Каток, А.С. Ковтун, И.Э. Руденко. Оптика по высшим стандартам / – Сети и телекоммуникации, № 11, 2004. – с. 62-70.
- 4.4 Mahlke G., Gossing P. Fiber optic cables: fundamentals, cable engineering, systems planning. – Berlin; Munchen: Siemens–Aktienges., 1993. – 244 p.
- 4.5 Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В., Дашенко А.Ф., Усов А.В. Волоконно-оптические кабели. Теоретические основы, конструирование и расчет, технология производства и эксплуатация. – Одесса: Астропринт, 2000. – 536 с.
- 4.6 В.Б. Каток, В.Г. Кривуца, І.Е. Руденко. Класифікація оптичних кабелів зв'язку. Стандартизація та нормування основних характеристик / – Вісник ДУІКТ, Т.3, № 3-4, 2005. – с. 7-9.
- 4.7 К. Н. Lewis, J.R. Bass. abc of the Telephone: Fiber Optic Fundamentals. abc TeleTraining, Inc., Geneva, Ill, 1991, – 119 p.
- 4.8 V. Katok, A. Kovtun, I. Rudenko. Fundamental trends of telecommunication optical fiber cables standardization /5th Anniversary Regional Turkey, Caspian & Black Sea Telecommunication & IT Conference and Exhibition. 11-13.04.2006. Istanbul (Turkey). Conference proceeding. P. 198-203.
- 4.9 В.Б. Каток, І.Е. Руденко. Основні напрямки стандартизації оптичних кабелів зв'язку / – Зв'язок, № 4, 2005. – с. 17-22.
- 4.10 В.Б. Каток, А.С. Ковтун, И.Э. Руденко. Биологическая атака на кабель / – Сети и телекоммуникации, № 11, 2005. – с. 68-71
- 4.11 Оптические кабели связи российского производства. Справочник / Воронцов А.С., Гурин О.И., Мифтяхетдинов С.Х., Никольский К.К., Питерских С.Э. – М. ЭКО–ТРЕНДС, 2003. – 288 с.
- 4.12 IEC 304 (1982) Standard colours for insulation for low-frequency cables and wires.
- 4.13 ГОСТ 24423-80. Пленка полиэтилентерефталатная. Технические условия.

-
- 4.14 ГОСТ 1526-81. Проволока стальная оцинкованная для бронирования электрических проводов и кабелей. Технические условия
 - 4.15 Nilsson–Gistvik S. Optical Fiber Theory for Communications Networks. Ericsson Cbles A.B. 1994. – 219 p.
 - 4.16 ГОСТ 16336-77. Композиции полиэтилена для кабельной промышленности.
 - 4.17 ГОСТ 5151-79 Барабаны деревянные для электрических кабелей и проводов. Технические условия.
 - 4.18 ГОСТ 14192-96 Маркировка грузов.
 - 4.19 ГОСТ 18690-82 Кабели, провода, шнуры и кабельная арматура. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение. Технические условия.
 - 4.20 Каток В.Б., Руденко І.Е. Волоконно-оптичні кабелі зв'язку. – К., Логос, 2013. – 334 с.

5 ВИПРОБУВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ

5.1 Загальні положення (відомості)

В процесі виробництва ВОК, будівництва ВОЛЗ та її технічної експлуатації, ВОК піддається різноманітним випробуванням, при яких перевіряються різноманітні характеристики кабелю. Випробування, умови їх проведення, перелік контрольованих параметрів та критерії прийнятності результатів визначаються чинними стандартами та технічними умовами на ВОК [5.1].

До ВОК висуваються досить широкий перелік вимог, стосовно передавальних, механічних характеристик та стійкості до впливу чинників довкілля [5.2]. Передавальні характеристики ВОК визначаються характеристиками застосовуваних в них ОВ. Механічні характеристики та стійкість ВОК до впливу чинників довкілля залежить від конструкції кабелю.

На сьогодні розроблено низку стандартних методів випробувань і вимірювань геометричних, оптичних, конструктивних, механічних характеристик ВОК та перевірки стійкості кабелів до впливу чинників довкілля. Основні методи, достатні для проведення приймально-здавальних випробувань ВОК на заводах-виробниках, приведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 — Методи випробувань ВОК

Характеристика, що визначається	Метод	Випробування
Методи випробувань на визначення передавальних та оптичних характеристик ОВ		
Загасання	ІЕС 60793–1–40, метод А або ГОСТ 26814–86	Метод обриву
	ІЕС 60793–1–40, метод В або ГОСТ 26814–86	Метод втрат, що вносяться
Загасання	ІЕС 60793-1-40, метод А або ГОСТ 26814-86	Метод зворотного розсіювання
Точкові дефекти	ІЕС 60793–1–40, метод С або ГОСТ 26814–86	Метод зворотного розсіювання
Методи випробувань на визначення механічних характеристик		
Стійкість до розтягування	ДСТУ ІЕС 60794–1–2, метод Е1	Розтягування
Стійкість до роздавлювання	ДСТУ ІЕС 60794–1–2, метод Е3	Роздавлювання
Стійкість до удару	ДСТУ ІЕС 60794–1–2, метод Е4	Удар
Стійкість до циклічного згинання	ДСТУ ІЕС 60794–1–2, метод Е6	Циклічне згинання
Стійкість до осьового закручення	ДСТУ ІЕС 60794–1–2, метод Е7	Осьове закручення
Стійкість до пошкоджень при утворенні петлі	ДСТУ ІЕС 60794–1–2, метод Е10	Петля
Стійкість до перемотування	ДСТУ ІЕС 60794–1–2, метод Е11	Розмотування/змотування
Методи випробувань характеристик стійкості до впливу чинників довкілля		
Стійкість до циклічного зміння температури	ДСТУ ІЕС 60794–1–2, метод F1; ІЕС 60794–1–22, метод F1	Циклічне зміння температури
Стійкість до проникнення води	ДСТУ ІЕС 60794–1–2, метод F5; ГОСТ 27893, метод 10	Водопроникність

Усі випробування, окрім тих, для яких в технічних умовах зазначені інші вимоги, мають проводитись за нормальних кліматичних умов згідно [5.3]:

- температура повітря від 15°C до 35°C;
- відносна вологість повітря від 45% до 80%;
- атмосферний тиск від 84 кПа до 106 кПа (від 630 мм рт.ст. до 800 мм рт.ст.).

За температури понад 30°C відносна вологість повітря не повинна бути вище за 70%.

5.2 Методи випробувань на визначення передавальних та оптичних характеристик ОВ

Випробування на визначення передавальних та оптичних характеристик ОВ відбувається на всіх етапах, від створення ОВ до його експлуатації на ВОЛЗ. Вимірювання на ВОЛЗ поділяють на два види.

1. Вимірювання під час будівництва:

- вхідний контроль;
- оцінка якості монтажно-будівельних робіт та приведення параметрів до встановлених норм;
- приймально-здавальні випробування.

2. Вимірювання під час експлуатації:

- профілактичні вимірювання;
- вимірювання під час та після аварійно-відновлювальних робіт;
- безперервний моніторинг параметрів системи та лінії.

Основними експлуатаційними вимірюваннями на ВОЛЗ є визначення:

- величини загасання регенераційної ділянки;
- довжини регенераційної ділянки та відстані до виявленої неоднорідності або пошкодження волокна;
- величини загасання місця з'єднання волокна;
- хроматичної дисперсії та поляризаційної дисперсії моди.

При вимірюваннях необхідно приділяти увагу наступним чинникам:

- вимірювальні прилади повинні бути повірені;
- потрібно визначити кліматичні умови, в котрих проводяться виміри. (Для електрозв'язку використовується ГОСТ 20.57.406-81 (Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний));
- потрібно визначити похибку результату вимірювання, та точність самого методу вимірювань.

5.2.1 Метод обриву

Метод обриву (метод А ІЕС 60793–1–40) [5.4, 5.5] заснований на порівнянні значення потужності оптичного випромінювання, вимірюваного на виході довгого відрізка кабелю, зі значенням потужності, виміряним на виході його короткого відрізка, який утворений за рахунок обривання кабелю на початку вимірюваного зразка. При вимірюванні слід забезпечити постійну потужність, що вводиться у ОВ вимірюваного ВОК, та незмінність модового складу випромінювання. Метод застосовують для вимірювання загасання на ВОК, ОВ якого не армовані оптичними рознімними з'єднувачами. Метод обриву використовується для вимірювання загасання багатомодових та одномодових ОВ.

Вимірювання проводять на ВОК відомої довжини, що прийшли випробування на оптичну цілісність методом зворотного розсіювання.

Торцеві поверхні ОВ вимірюваного кабелю повинні бути перпендикулярні осі волокон і не мати поганих сколів та пошкоджень, що заважають вводу оптичного випромінювання у ОВ.

Вимірювання загасання ОВ проводять на установці, схема якої приведена на рисунку 5.1.

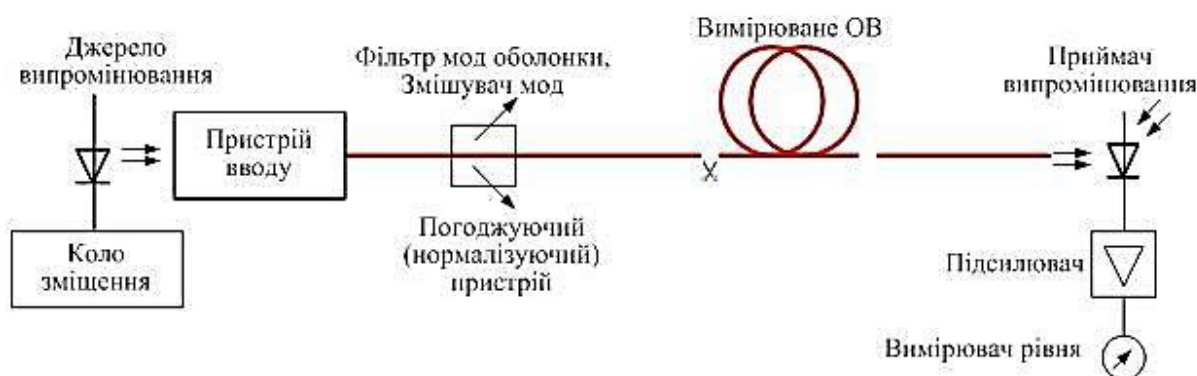


Рисунок 5.1 — Схема установки для вимірювання загасання методом обриву [5.4]

Положення та інтенсивність джерела випромінювання повинні бути стабільні протягом всього часу проведення вимірювань. Довжина хвилі та спектральна ширина джерела випромінювання повинні відповідати вимогам стандартів та технічних умов на ВОК.

Пристрій вводу випромінювання у вимірюване ОВ кабелю має забезпечувати юстирування вхідного кінця волокна у трьох взаємно перпендикулярних площинах для здійснення оптимального вводу енергії у волокно та його жорсткої фіксації.

Фільтр мод оболонки має забезпечувати вивід мод, що розповсюджуються по оболонці ОВ вимірюваного ВОК.

Приймач випромінювання має мати фоточутливу площадку, достатню для реєстрації усього конусу випромінювання, що виходить з ОВ. Приймач має бути чутливим до випромінювання в усьому спектральному діапазоні, що використовується у вимірюваннях. Чутливість приймача має бути однорідною по всій його площі, а перетворююча характеристика – лінійною або відомою.

Реєструючий пристрій має забезпечити реєстрацію сигналу у всьому діапазоні сигналів, що надходять від приймача випромінювання. Якщо застосовується модуляція оптичного випромінювання, то система обробки сигналу, що надходить від приймача випромінювання, має бути узгоджена з характеристиками модулятора (наприклад, синхронізована з частотою модуляції сигналу джерела випромінювання). Характеристика реєструючого пристрою має бути лінійною або відомою.

Вимірювання проводяться за нормальних кліматичних умов.

До проведення вимірювань обидва кінця вимірюваного ВОК звільняють від захисних покривів: вхідний – на довжину не менше 1м, вихідний – на довжину не менше 0,5 м. Кінці кожного ОВ вимірюваного кабелю на довжині 10÷50 мм звільняють від первинної та вторинної захисних оболонок. Торцеві поверхні ОВ на обох кінцях кабелю оброблюють так, щоб вони були перпендикулярними до осі волокна і мали рівний скол.

На відстані $(0,5 \pm 0,2)$ м від вхідного торця вимірюваного ОВ встановлюють фільтр мод оболонки та змішувач мод (погоджуючий (нормалізуючий) пристрій).

Вимірюване ОВ встановлюється вхідним торцем у пристрій вводу, вихідним – поблизу фоточутливої площадки приймача випромінювання так, щоб все випромінювання з вихідного торця потрапляло на площадку.

За допомогою пристрою вводу проводять юстирування вхідного торця вимірюваного ОВ за максимумом сигналу на виході приймача випромінювання. Фіксують положення вхідного торця та реєструють значення сигналу на виході приймача випромінювання. При проведенні вимірювань спектрального розподілу загасання змінюють довжину хвилі випромінювання, що вводиться в ОВ в заданому спектральному діапазоні. При цьому реєструють значення сигналу на виході ОВ у всьому спектральному діапазоні.

Не змінюючи положення волокна в пристрої вводу, обламують вимірюване ОВ після фільтру мод оболонки на відстані $(1 \pm 0,2)$ м від вхідного торця. Підготовлюють вихідний торець короткого відрізка ОВ. Вихідний торець короткого відрізка ОВ встановлюють відносно фоточутливої площадки приймача випромінювання так, щоб на неї попадало все випромінювання з вихідного торця. Реєструють значення сигналу на виході приймача

випромінювання на фіксованій довжині хвилі джерела випромінювання або в спектральному діапазоні.

Загасання вимірюваного ОВ визначають за формулою:

$$A = 10 \lg \frac{P_2}{P_1}, \text{ дБ} \quad (5.1)$$

де: A – загасання ОВ, дБ; P_1 – потужність на вході ОВ (базова – значення якої може дорівнювати одному мВт, тоді A [дБм]); P_2 – потужність на виході ОВ.

Коефіцієнт загасання (дБ/км) вимірюваного ОВ на фіксованій довжині хвилі визначають за формулою:

$$\alpha = \frac{A}{L_2 - L_1}, \quad (5.2)$$

де: α – коефіцієнт загасання ОВ, дБ; L_1 – довжина короткого відрізка ОВ, км; L_2 – довжина вимірюваного ОВ ($1 \pm 0,2$ м), км.

Метод обриву практично неможливо застосувати під час експлуатації ВОЛЗ, оскільки відсутня можливість зробити обрив волокна на вже змонтованій лінії, тобто цей метод придатний, наприклад, при вхідному контролі параметрів ОВ.

5.2.2 Метод втрат, що вносяться

Метод втрат, що вносяться (метод В ІЕС 60793–1–40) [5.4, 5.5] заснований на послідовному вимірюванні потужності оптичного випромінювання на виході вимірюваного ОВ волоконно-оптичного кабелю та на виході допоміжного волокна, що армоване оптичним рознімним з'єднувачем. Метод застосовується для вимірювання загасання на ВОК, ОВ якого армовано оптичними рознімними з'єднувачами. Метод втрат, що вносяться використовується для вимірювання загасання багатомодових та одномодових ОВ.

Вимірювання проводять на ОВ відомої довжини, що прийшли випродування на оптичну цілісність методом зворотного розсіювання. ОВ кабелю, що підготовлений для вимірювань, мають бути армовані оптичними рознімними з'єднувачами.

Існує три варіанти вимірювання загасання ОВ методом втрат, що вносяться, однак на практиці найчастіше проводять вимірювання загасання ОВ методом, схема якого приведено на рисунку 5.2.

Вимоги до джерела випромінювання, пристрою вводу, змішувача мод, приймача випромінювання та пристрою реєстрації ідентичні вимогам, зазначеним для методу обриву.

Всі оптичні шнури (шнури з'єднувальні світловодні – ШЗС, допоміжне ОВ – шнур) та адаптери наведені на Рис. 5.2 повинні мати відомий рівень втрат.

Вимірювання проводять за нормальних кліматичних умов. До початку вимірювань торці усіх рознімних з'єднувачів контролюють а потім, при наявності забруднення, очищають одним з рекомендованих нижче засобів.

Вимірювання виконують в два етапи: Етап 1 – калібрування, Етап 2 – власне вимірювання.

При калібруванні вимірюється базовий рівень оптичної потужності. Для чого джерело випромінювання і вимірювач рівня потужності з'єднують як показано на рисунку 5.2. При цьому на вимірювачі рівня потужності фіксують базову оптичну потужність p_K .

Для вимірювання загасання в ОВ ШЗС1 від'єднують від вимірювача рівня потужності, не порушуючи з'єднання з джерелом випромінювання. З'єднати ШЗС1 і один кінець ОВ, що досліджується (найчастіше з'єднання відбувається на оптичному кросі), а другий кінець ОВ, що досліджується під'єднати (найчастіше з'єднання відбувається на іншому оптичному кросі) до вимірювача рівня оптичної потужності ШЗС2, як показано на рисунку 5.2.

Результатом калібрування є вимірний рівень потужності p_K (наприклад $-7,8$ дБм).

Результатом власне вимірювання є вимірний рівень потужності p_B (наприклад $-8,9$ дБм).

Загасання вимірюваного ОВ визначають за формулою:

$$A = p_K - p_B = -7,8 - (-8,9) = 1,1 \text{ дБ}, \quad (5.3)$$

Запропонована методика забезпечує виконання вимірювання з похибкою, котра не перевищує величини, що визначається за формулою (відповідно до ГОСТ 8.207-76:

$$\delta = 1,1 \sqrt{\delta_d^2 + \sum_{i=1}^n \delta_{pi}^2 + \delta_b^2}, \text{ дБ} \quad (5.4)$$

де: δ – похибка вимірювання загасання, дБ;

δ_d – межа допустимої похибки оптичної потужності (нестабільність) джерела випромінювання, дБ;

n – кількість оптичних рознімних з'єднань, які враховуються при визначенні похибки вимірювання загасання (для методу показаного на рис. 5.2 $n=2$);

δ_{pi} – половина від максимального загасання в оптичних рознімних з'єднаннях, ШЗС – ОВ, що вимірюється, дБ;

δ_b – межа допустимої похибки вимірювання загасання вимірювача оптичної потужності, дБ.

При цьому слід зауважити, що величини підкореневого виразу, наведені в формулі, віднесені до не виключених систематичних похибок результату вимірювання, які мають рівномірний розподіл.

Кількість значущих цифр після коми числового значення похибки, повинно дорівнювати двом.



Рисунок 5.2 — Схема для вимірювання загасання методом втрат, що вносяться - ISO/IEC 14763-3 [5.4]

При вимірюванні залежності загасання ОВ від довжини хвилі змінюють довжину хвилі джерела випромінювання (наприклад, 1310 нм, 1550 нм, тощо) і повторюють вимірювання.

Недоліком методу втрат, що вносяться, при вимірюванні на ВОЛЗ, є необхідність визначення одним оператором потужності котра вводиться в регенераційну ділянку на одному її кінці, а потім переносити приймач сигналу на другий кінець лінії (котра може мати значну відстань) і вже там, другим оператором вимірювати вихідну потужність.

5.2.3 Метод зворотного розсіювання

Метод зворотного розсіювання (рефлектометричний метод) (метод С ІЕС 60793–1–40) [5.4, 5.5] засновано на реєстрації зворотньорозсіяного та відбитого від неоднорідностей випромінювання в ОВ, що вимірюється в кабелі, при проходженні через нього оптичного імпульсу та вимірюванні залежності рівня потужності випромінювання від часу (відстані) цього випромінювання. Метод придатний для визначення розподілу оптичних втрат по довжині ОВ та визначення оптичної довжини ОВ в ВОК, загасання ОВ в кабелі, розподілених та локальних неоднорідностей типу обриву, місць зварювання, рознімних з'єднувачів і відстані до них, вимірювання значень втрат на неоднорідностях (обриву, тріщини, згинів),

Всі ці вимірювання проводять рефлектометром спрощена схема якого приведена на рисунку 5.3.

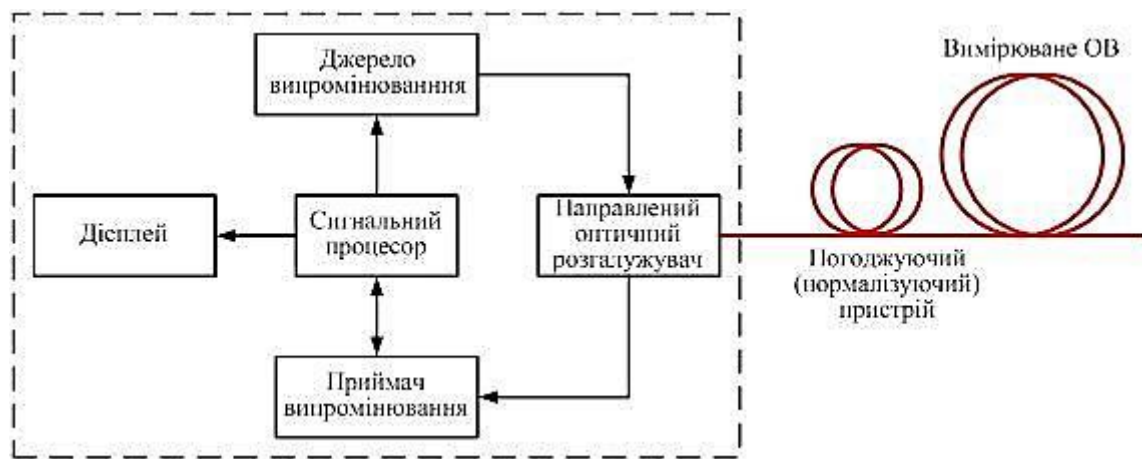


Рисунок 5.3 — Установка для вимірювання методом зворотного розсіювання [5.4]

В якості джерела випромінювання застосовують лазер, що генерує стабільні за потужністю, довжиною хвилі, тривалістю та частотою повторення імпульси оптичного випромінювання. Потужність оптичного випромінювання має бути достатньою для проведення вимірювань, але не призводити до виникнення нелінійних ефектів у волокні вимірюваного ВОК.

Направлений оптичний розгалужувач повинен забезпечувати ефективну передачу потужності оптичного випромінювання в ОВ вимірюваного кабелю та зворотнорозсіюваної та відбитої потужності до приймача випромінювання. Направлений оптичний розгалужувач повинен мати числову апертуру, що відповідає числовій апертурі волокна вимірюваного ВОК.

Приймач випромінювання повинен мати швидкодію, що відповідає тривалості імпульсу джерела випромінювання.

Сигнальний процесор повинен забезпечувати збільшення співвідношення сигнал/шум на виході приймача випромінювання на рівні, достатнім для реєстрації зворотнорозсіяних та відбитих сигналів.

Дисплей повинен мати характеристики, що узгоджені з сигнальним процесором.

Вимірювання мають проводитись за нормальних кліматичних умов.

Довжина погоджувачого (нормалізуючого) пристрою (як правило це довгий патчкорд або невелика котушка з оптичним волокном) повинна бути більше довжини мертвої зони, яка створюється на початку рефлекторами з причини відбиття оптичної потужності на оптичному рознімному з'єднанні до якого підключається рефлектометр.

До початку вимірювання обидва кінці вимірюваного ВОК звільняють від захисних покривів на відстані не менше 30 см. Потім на відстані 10 ÷ 50 мм звільняють ОВ від захисних покривів. З обох кінців кабелю обробляють торцеві поверхні кожного вимірюваного ОВ так, щоб вони мали рівний та перпендикулярний осі волокна скол. Один кінець вимірюваного ОВ кабелю

приєднують до вимірювальної установки та знімають залежність зворотно розсіяних та відбитих рівнів потужності випромінювання від часу (відстані) проходження імпульсів. Узагальнений вигляд кривої зворотно розсіяного та відбитого випромінювання приведено на рисунку 5.4.

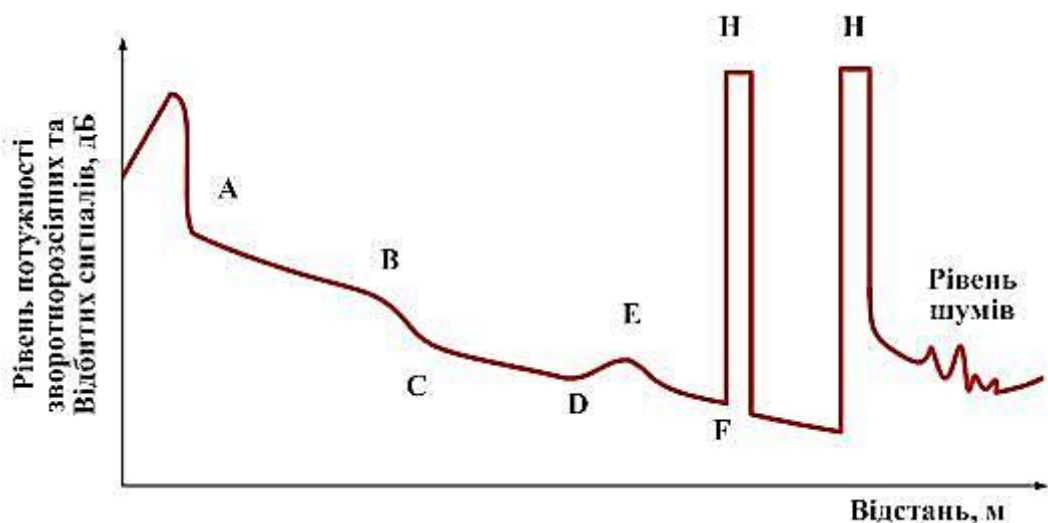


Рисунок 5.4 — Крива зворотно розсіяного та відбитого випромінювання [5.5].

Загасання на ділянці волокна, що не має локальних неоднорідностей між характерними точками (ділянки АВ та CD на рисунку 8.4) процесор рефлектометра визначає за формулами:

$$A_{AB} = \frac{1}{2}(p_A - p_B); \quad (5.4)$$

$$A_{CD} = \frac{1}{2}(p_C - p_D), \quad (5.5)$$

де A_{AB} , A_{CD} — загасання на ділянках АВ та CD, дБ; p_A , p_B — значення рівня потужності зворотно розсіяного випромінювання в точках А та В, дБ; p_C , p_D — значення рівня потужності зворотно розсіяного випромінювання в точках С та D, дБ.

Загасання на стиках та значних за величиною неоднорідностях (ділянки ВС та EF рисунку 5.4) процесор рефлектометра визначає за формулами:

$$A_{BC} = \frac{1}{2}(p_B - p_C); \quad (5.6)$$

$$A_{EF} = \frac{1}{2}(p_E - p_F), \quad (5.7)$$

де A_{BC} , A_{EF} — загасання на ділянках ВС та EF, дБ; p_B , p_E — значення рівня потужності зворотно розсіяного випромінювання на початку ділянок ВС та EF, дБ; p_C , p_F — значення рівня потужності зворотно розсіяного випромінювання на кінцях ділянок ВС та EF, дБ.

Загасання на усій довжині кабелю визначається за формулою

$$A = \frac{1}{2}(p_A - p_H), \quad (5.8)$$

де: A – загасання ВОК, дБ; p_A – значення рівня потужності зворотньорозсіяного сигналу на початку ВОК, дБ; p_H – значення потужності зворотньорозсіяного сигналу на кінці ВОК, дБ;

По кривій зворотного розсіювання та відбиття (рисунки 5.4) визначають відстань до характерних точок А – F.

Про цілісність волокна вимірюваного в ВОК, судять по кількості характерних точок типу Н на кривій зворотного розсіювання та відбиття. Якщо точок типу Н більше однієї, ОВ має обрив. Якщо характерна точка типу Н одна, про наявність обриву судять з наступного співвідношення

$$p_H = p'_H.$$

якщо обрив відсутній, виконується співвідношення

$$p'_H < p_H,$$

де p_H – рівень відбитої потужності в точці Н при вимірюванні без імерсійної рідини на вихідному торці волокна; p'_H – рівень відбитої потужності в точці Н при вимірюванні з імерсійною рідиною на вихідному торці волокна.

Рефлектометричний метод характеризується невизначеністю методичної похибки і похибка не розглядається.

Метод рефлектометрії має вагомі переваги порівняно з іншими методами контролю параметрів ВОЛЗ:

- виміри проводяться на одному кінці лінії (або з одного кінця оптичного волокна);
- є можливість визначення довжини відрізка волокна (кабелю) до місця пошкодження (неоднорідностей, тріщин ОВ, мікровигинів);
- вимірює втрати на з'єднаннях;
- вимірює коефіцієнт зворотнього відбиття;
- проводить оцінку стану системи з плином часу, порівнянням первинних та отриманих поточних рефлекторам (можна також порівняти рефлекторами на різних довжинах хвиль (звичайно, на 1310 нм та 1550), що дозволяє визначити характер виявленої неоднорідності, наприклад, ідентифікувати згини або зрощення ОВ).

За принципом дії та сферою застосування можна виділити три види рефлектометрів:

1. Імпульсний рефлектометр
2. Частотний рефлектометр
3. Бріллюєнівський рефлектометр

Імпульсний рефлектометр.

Робота рефлектометра полягає в дослідженні відбитого сигналу, котрий виникає внаслідок зворотнього розсіювання в оптичному тракті. Лазер подає в оптичну лінію світловий імпульс з певним періодом повторення, через певні проміжки часу прилад визначає потужність отриманого зворотнього сигналу.

Характеристиками рефлектометра є:

- *Динамічний діапазон* – визначається як різниця між сигналом на початку рефлектограми та середньоквадратичним значенням шумів в кінці рефлектограми (цей параметр впливає на максимальну відстань, з якою може працювати прилад, чим він більший, тим більша відстань роботоспроможності приладу);
- Границі зміни тривалості імпульсу (для коротких ліній потрібні короткотривалі імпульси, адже сильний сплеск від рознімного з'єднувача при відбитті може зробити приймач приладу нечутливим, внаслідок чого з'являється «мертва зона», тобто відстань, на котрій покази приладу не можна вважати достовірними. (Мертва зона приладу вимірюється за імпульсом найменшої тривалості. Розрізняють мертві зони по відбиттю та по загасанню, як це показано на рисунку. Величина мертвої зони залежить не лише від тривалості імпульсу, а також і від коефіцієнта відбиття від неоднорідності та відстані до неоднорідності);
- Роздільна здатність рефлектометра;
- Можливість комп'ютерної обробки результатів (що дає змогу більш ефективно обробляти отримані результати)

Мертві зони рефлектометра – це ділянки поблизу відбиваючих елементів, в котрих не можна достовірно проводити виміри. Ділянку поблизу відбиваючої події, в межах якої неможливо виявити іншу відбиваючу подію, називають мертвою зоною відбиття. Ділянка поблизу відбиваючої події, в межах котрої неможливо достовірно виміряти рівень потужності зворотнього розсіювання, називається мертвою зоною загасання.

Мертва зона відбиття визначається відстанню між початком відбиття та точкою на спаді піку відбиття з рівнем меншим на 1,5 дБ відносно піку (рисунок 5.5).

Мертва зона загасання визначається відстанню від початку відбиття до точки, в котрій рівень сигналу фотоприймача відрізняється не більше ніж на $\pm 0,5$ дБ від рівня зворотнього розсіювання.

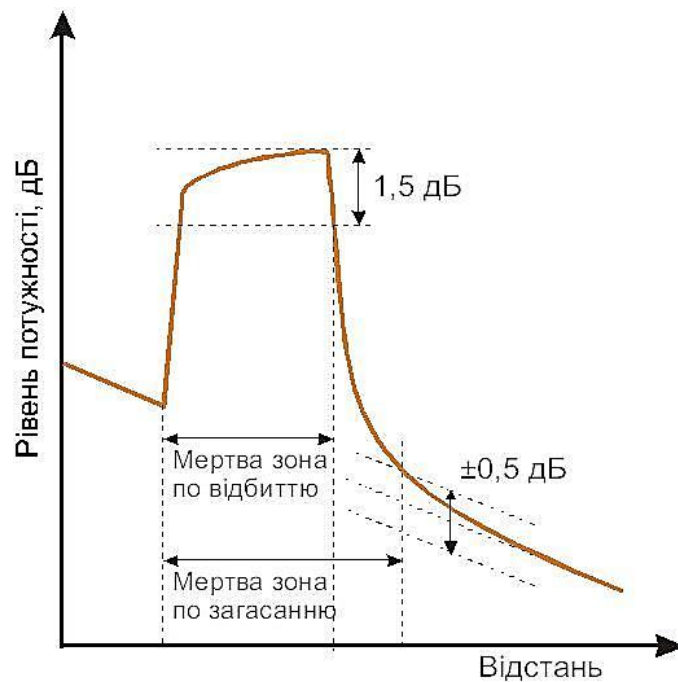


Рисунок 5.5 Приклад визначення мертвих зон

Нахил кривої на рефлектограмі характеризує коефіцієнт загасання волокна в дБ. На ділянках, вільних від відбиваючих чи поглинаючих об'єктів, це спадає пряма лінія, за якою досить точно можна визначити коефіцієнт відбиття, не дивлячись на те, що вимірювання проводиться непрямо, за загасанням відбитого світла. На рефлектограмі також видно місця з'єднання волокон та точкові дефекти (рисунок 5.6).

За допомогою рефлектограми можна визначити відстань та тип подібної неоднорідності, а також величину втрат на них. Піки на з'єднаннях зумовлені френелівським розсіюванням на торцях волокон, поява такого піку на місцях зварних з'єднань свідчить про погану якість зварювання. Зварні з'єднання як правило не є відбиваючими і втрати на них схожі на місця мікровигинів.

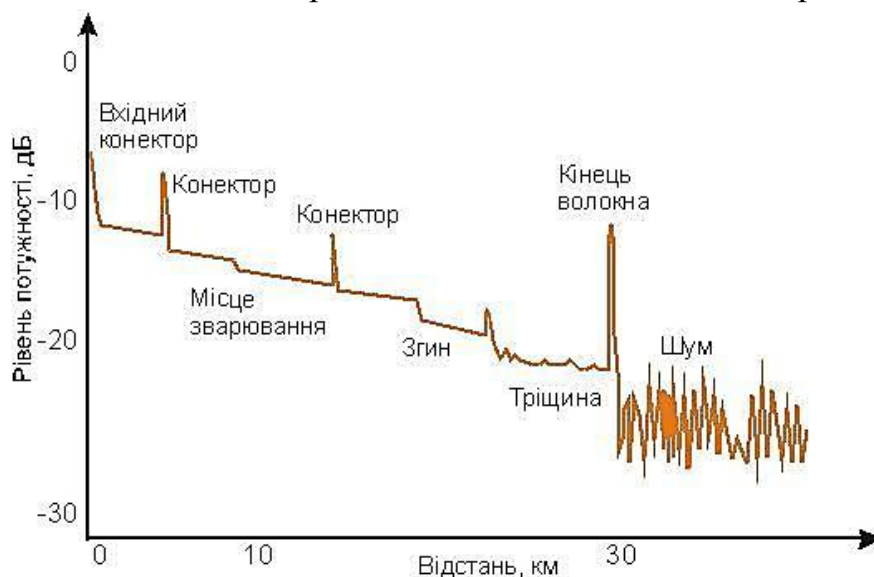


Рисунок 5.6 Приклад типової рефлектограми

При вимірюванні рефлектометром в місцях з'єднань волокон різного типу можлива помилка в обробці результатів (рисунок 5.7), джерелом якої є відмінність коефіцієнтів зворотнього розсіювання з'єднаних волокон. Виміряне за рефлектограмою значення втрат на з'єднанні відрізнятиметься від реального значення на величину різниці коефіцієнтів зворотнього розсіювання в дБ. Наприклад, з'єднання ділянок I та II виглядає як ділянка, на котрій відбулось підсилення сигналу, а ділянка на з'єднанні II та III – як така, що вносить втрати, які перевищують їхню реальну величину.

Вимірювання рефлектометром втрат на з'єднанні волокон дає правильний результат у випадку, коли коефіцієнти зворотнього розсіювання двох волокон рівні. При різних величинах цих коефіцієнтів потрібно корегувати результати, або для більшої точності обчислювати результат за допомогою двох рефлектограм, знятих з протилежних кінців, в такому випадку втрати на з'єднанні дорівнюватимуть півсумі вимірів з двох рефлектограм, знятих з різних кінців.

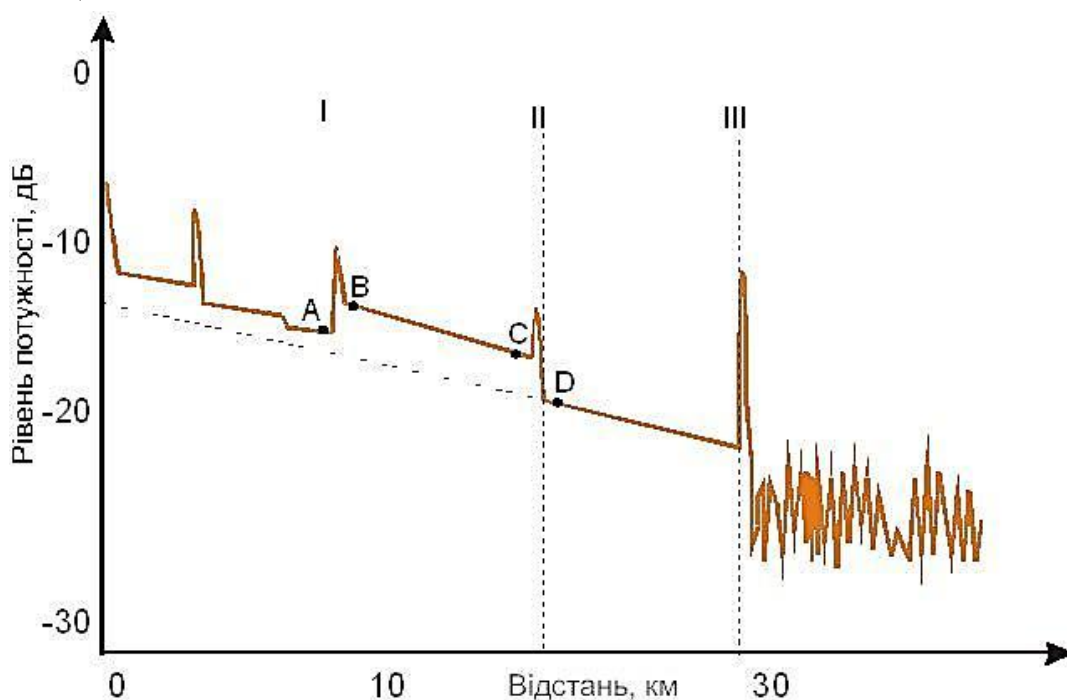


Рисунок 5.7 Приклад появи помилок при аналізі рефлектограм

Частотний рефлектометр.

Метод частотної рефлектометрії OFDR (Optical frequency domain reflectometr), ще називають методом частотно-модульованого зондування. За такого методу в оптичне волокно вводиться не імпульсне оптичне випромінювання, а безперервний сигнал, частота котрого промодульована сигналом, що змінюється за заданим законом (як правило використовується лінійна модуляція частоти сигналу).

Відбитий в оптичному волокні сигнал повертається і змішується із зондуючим опорним сигналом. В результаті формується послідовність з биття,

частотний спектр якої описує зміну зонduючого сигналу вздовж волоконного тракту. При цьому частота сигналу биття F пов'язана із затримкою проходження зонduючого імпульсу до точки з координатою x на тракті наступним чином: $F = \gamma \cdot \tau = (2 \cdot \omega \cdot F_m) \cdot (2 \cdot n \cdot x / c)$, де:

- ω – девіація частоти зонduючого сигналу
- $\gamma = 2\omega F_m$ – швидкість зміни частоти зонduючого імпульсу
- F_m – частота повторень функції модуляції зонduючого сигналу
- n – показник заломлення сердцевина оптичного волокна
- c – швидкість світла у вакуумі

Бріллюенівський рефлектометр

Бріллюенівський рефлектометр використовується для виявлення місць з великим натягом волокон. Такі місця є потенційними місцями виникнення мікротріщин та обриву волокон. Виявлення таких місць до монтажу оптичного кабелю дозволяє убезпечити кабель від швидкого старіння і виходу з ладу внаслідок виникнення тріщин та обриву волокон. Звичайно, всі інші параметри волокон при цьому можуть бути в нормі, однак зайвий натяг волокон призведе до виходу цілком працездатного кабелю з ладу.

Бріллюенівський рефлектометр має в своїй конструкції пристрій зсуву за частотою, де зонduючий сигнал отримує зсув на величину $\Delta\nu$, у волокні виникає сигнал, зсунутий за частотою на величину $\Delta\nu_B$, що повертається на фотодетектор, на котрий також поступає опорний сигнал, внаслідок чого фотодетектор реєструє биття з частотою $\Delta\nu - \Delta\nu_B$.

Спершу проводиться вимір кількох рефлектограм за різних величин зсуву $\Delta\nu$. Потім визначається положення максимуму кривої розсіювання для кожної довжини волокна, котре і відповідає Бріллюенівському зсуву частоти $\Delta\nu_B$. Потім комп'ютерно обчислюється натяг за зсувом частоти. Коефіцієнт пропорційності залежить від температури волокна та показника заломлення, і ці дані вводяться в програму заздалегідь.

5.3 Методи випробувань на визначення механічних характеристик

5.3.1 Розтягування

Випробування на розтягування призначене для визначення поведінки загасання та/чи видовження волокна як функції розтягувального зусилля на кабель, що може виникнути в процесі прокладання. Випробування проводиться за методом E1A або E1B [5.6]. Метод E1A призначається для визначення зміни загасання, а метод E1B – для визначення видовження волокна і може надавати інформацію щодо максимально дозволеного зусилля розтягування та межі

міцності кабелю. В будь якого випадку метод повинен бути неруйнівним (прикладене розтягувальне зусилля має бути в межах робочих значень).

Випробувальна установка складається з:

- засобу вимірювання загасання для визначення зміни загасання (для методу E1A), та/чи засобу вимірювання видовження волокна, (для методу E1B);
- засобу вимірювання розтягувального зусилля, здатного розмістити мінімальну випробовувану довжину (можна використовувати поліспаст - рисунок 5.8);
- динамометра з максимальною похибкою $\pm 3\%$ його максимального діапазону;
- пристрою кріплення (затискувача), який повинен певним чином надійно фіксувати кабель для запобігання впливу на результат;
- за необхідності слід передбачити механічні чи електричні засоби вимірювання видовження кабелю.

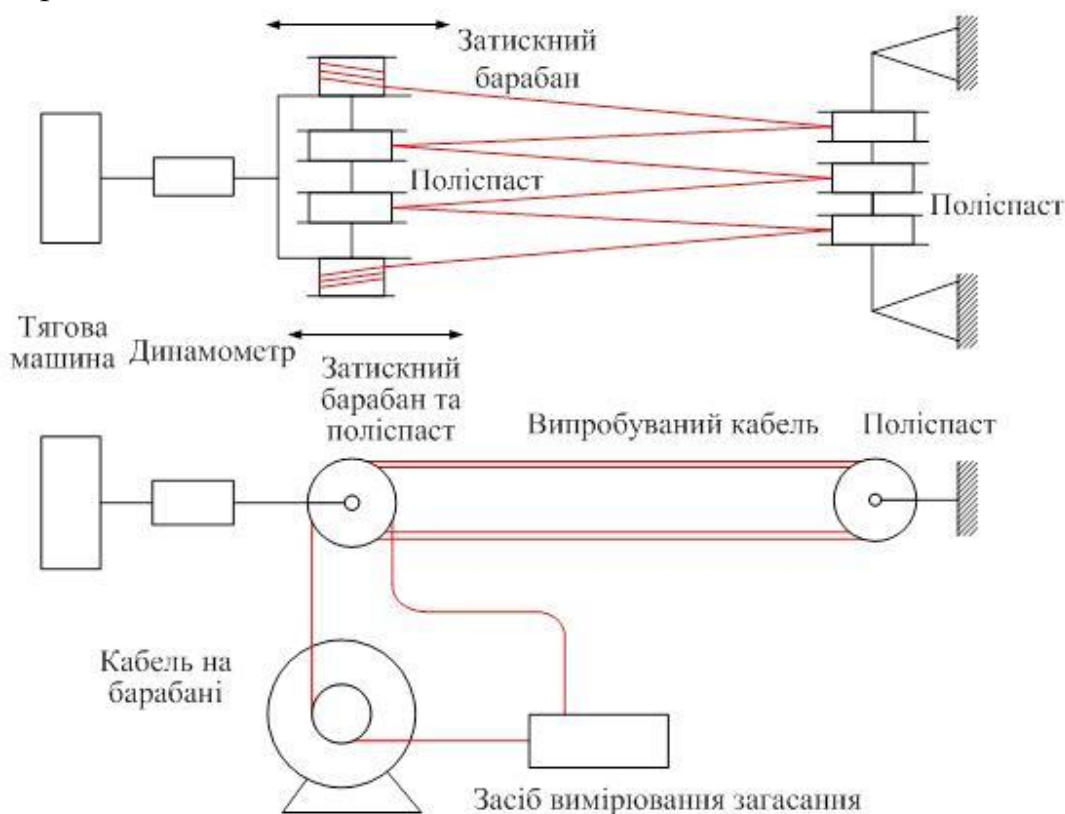


Рисунок 5.8 — Приклад установки для випробування ВОК на розтягування [5.6].

Випробування проводяться за нормальних кліматичних умов. Кабель кладуть на установку для розтягування та закріплюють. З обох кінців, установленим способом рівномірно закріплюють усі елементи кабелю так, щоб вони були обмежені в переміщенні. Для більшості кабелів (наприклад, кабелів типу класичної скрутки) фіксація елементів кабелю, крім ОВ, є практичною й

достатньою умовою для проведення вимірювання загасання та/чи максимально припустимого розтягувального зусилля та граничних значень розтягувальних зусиль на кабель. Однак для деяких кабелів (наприклад, з центральною захисною трубкою) для отримання реальних граничних значень розтягувальних зусиль може виникнути необхідність запобігти ковзанню ОВ. За необхідності, закріплення ВОК для підвішування на опорах має виконуватись за допомогою анкерних пристроїв, що відповідають типу цього кабелю. Для ВОК з круглою дротовою бронею можна використовувати дротові затискачі або різноманітні анкерні пристрої.

ОВ з'єднують із засобом вимірювання. Запускають тягову машину. Розтягувальне зусилля повинно безперервно зростати до потрібного значення. Зміну загасання та/чи видовження волокна реєструють як функцію від прикладеного розтягувального зусилля чи видовження кабелю.

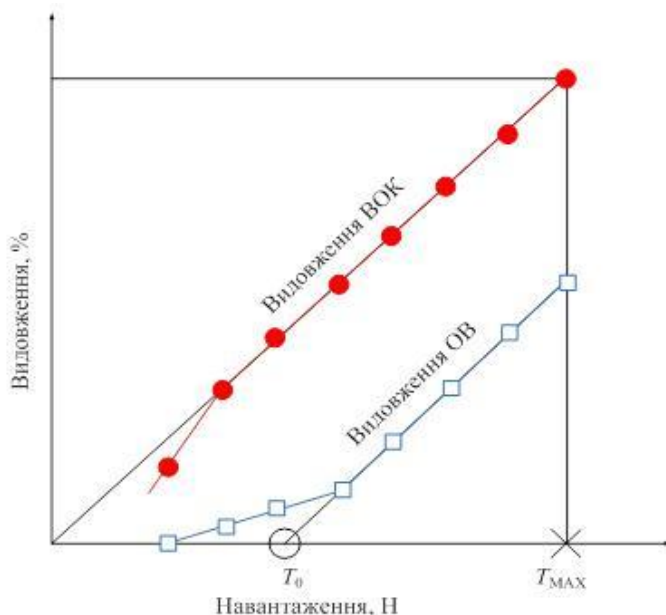


Рисунок 5.9 — Видовження ВОК та ОВ як функція від навантаження [5.6].

Зразок вважається таким що пройшов випробування, якщо значення загасання та/чи видовження волокна у випробовуваному зразку не перевищує значень, наведених у технічних умовах на конкретний ВОК. Приклад видовження ВОК та ОВ наведено на рисунку 5.6. За необхідності значення розтягувального зусилля, за якого починається видовження ОВ, визначають на кривій залежності видовження волокна від прикладеного розтягувального

зусилля як перетин лінійної частини кривої з віссю навантаження.

5.3.2 Роздавлення

Випробування на раздавлення призначене для визначення спроможності ВОК протистояти раздавленню. Випробування проводиться за методом ЕЗ [5.6].

Зразок повинен мати довжину, достатню для проведення зазначеного випробування.

Установка повинна давати змогу роздавити зразок кабелю між плоскою сталевією опорною плитою та рухомою сталевією пластиною, яка рівномірно передає раздавлювальне зусилля зразку на довжині 100 мм.

Грані рухомої пластини мають бути заокруглені з радіусом приблизно 5 мм. Грані не включено в 100 мм пласкої частини пластини. Типова установка наведена на рисунку 5.10.

Зразок кабелю встановлюють між пластинами так, щоб бокове переміщення було неможливим, а зусилля прикладалось поступово без будь-яких різких змін. Прикладені не повинні перевищувати співвідношення 1,5:1.

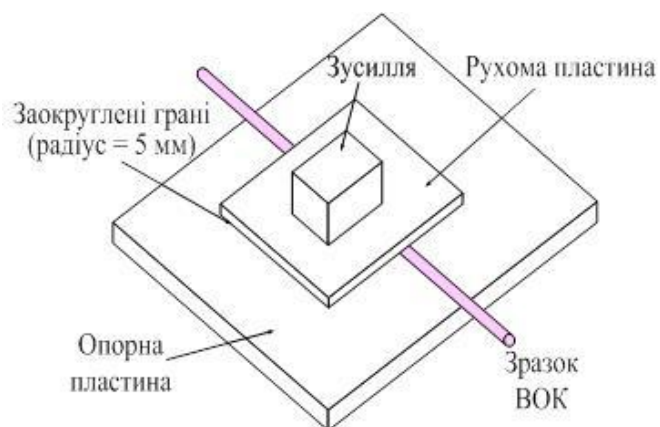


Рисунок 5.10 — Випробування на роздавлювання [5.6].

Якщо немає додаткових умов у технічних умовах на конкретний кабель, випробування слід виконувати тричі, зусилля прикладати до зразка в трьох різних місцях, рознесених одне від одного не менше ніж на 500 мм, без будь-якого обертання кабелю.

Якщо в технічних умовах на конкретний кабель зазначено додаткове чи альтернативне випробування, що представляє специфічні умови експлуатації, його можна провадити встановленням однієї чи більшої кількості сталевих оправок (діаметром 25 мм, якщо в технічних умовах на конкретний кабель не визначено інші умови) перпендикулярно до зразка.

Випробування проводять за нормальних кліматичних умов.

Критерії прийнятності зазначають в технічних умовах на кабель. Типові випадки відмови включають втрату оптично неперервності, деградацію коефіцієнта оптичного загасання чи фізичне пошкодження кабелю.

5.3.3 Удар

Випробування на удар призначене для визначення спроможності ВОК протидіяти удару. Випробування проводиться за методом Е4 [5.6].

Випробування проводиться на незначній довжині зразка. Коли необхідно оцінити лише фізичне пошкодження, можна використовувати довжину від 1м (наприклад, для з'єднувальних шнурів малих діаметрів чи дуплексних кабелів) до 5м (для кабелів більших діаметрів). Більші довжини можуть бути необхідні для вимірювання оптичних параметрів.

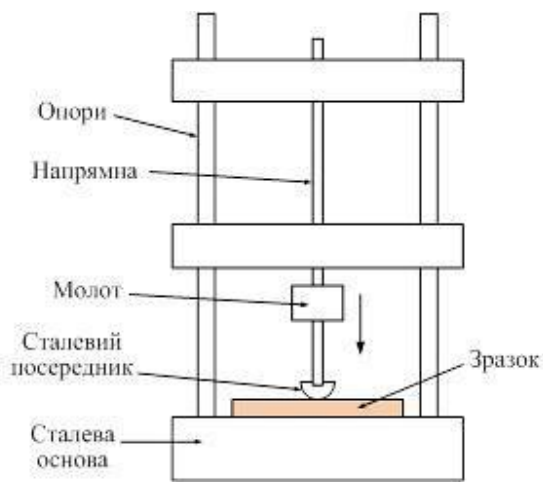


Рисунок 5.11 — Установка для кількох ударів [5.6].

Установка дає змогу удару бути переданим зразку ВОК, установленому на пласкій сталевій основ). Для проведення одного чи кількох випробувань на удар, використовують установку, наведену на рисунку 5.11. Вона дає змогу вантажу падати вертикально на сталеву частину, яка передає удар зразку кабелю. Для проведення циклічних ударів (зазвичай, більше п'яти) використовується установка, наведена на рисунку 5.12. Вона забезпечує багаторазові удари падаючим молотом.

Ударну поверхню, що контактує зі зразком має бути заокруглено, як напівкулю чи циліндр. Радіус заокруглення поверхні має бути зазначено в технічних умовах на кабель.

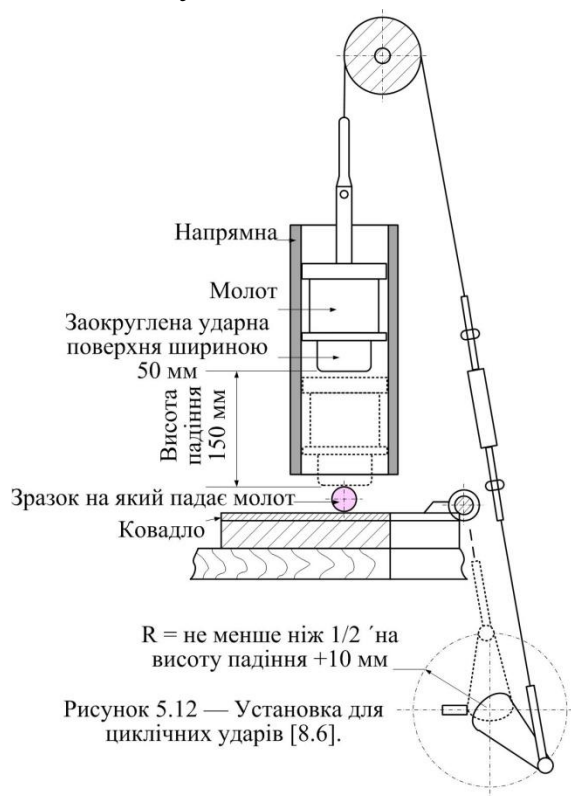


Рисунок 5.12 — Установка для циклічних ударів [8.6].

За відсутності інших вимог, випробування проводять за нормальних кліматичних умов. Масу вантажу чи молота та висоту падіння, які зазначені в технічних умовах на кабель, треба відрегулювати так, щоб забезпечити повну енергію удару. Кількість, частота ударів та місце ударів по зразку зазначаються в технічних умовах на кабель.

Критерії прийнятності зазначають в технічних умовах на кабель. Типові випадки відмови включають втрату оптичної неперервності, деградацію оптичних параметрів чи фізичне пошкодження кабелю.

5.3.4 Циклічне згинання

Випробування на циклічне згинання призначене для визначення спроможності ВОК протидіяти циклічному згинанню, яке може виникнути в процесі прокладання ВОК. Випробування проводиться за методом Е6 [5.6].

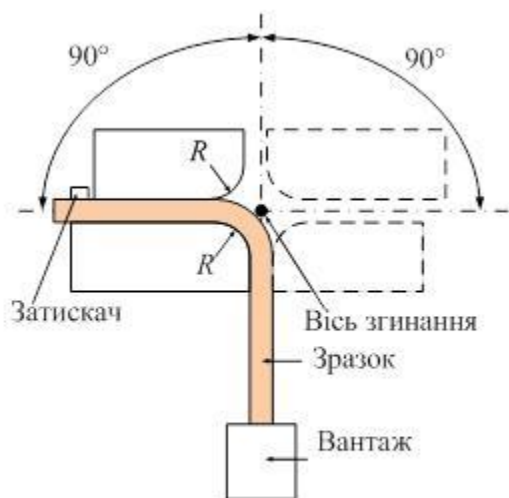


Рисунок 5.13 — Випробування на циклічне згинання [8.6].

Довжина зразка має бути достатньою для проведення зазначеного випробування. Коли необхідно оцінити лише фізичне пошкодження, можна використовувати довжину від 1 м (для з'єднувальних шнурів малих діаметрів чи дуплексних кабелів) до 5 м (для кабелів більших діаметрів). Для вимірювання оптичних параметрів необхідні більші довгі зразки.

Установка дає змогу зразку згинатись вперед та назад на кути до 180° , два крайніх положення становлять кут 90° з обох сторін від вертикалі, доки зразок піддається розтягувальному зусиллю. Для випробування кабелю, використовують установку, наведену на рисунку 5.13.

Гнучкий важіль повинен мати пристосовані затискачі чи кріплення для надійної фіксації кабелю протягом всього випробування без пошкодження ОВ чи виникнення оптичних втрат. При випробуванні армованих ВОК для фіксації кабелю на гнучкому важелі можна використовувати рознімний з'єднувач.

Установка має виконувати циклічне згинання. Переміщення зразка від вертикального положення до крайнього правого положення, коливання до крайнього лівого положення та повернення до первинного вертикального положення рахується одним циклом. Зазвичай швидкість згинання становить приблизно один цикл за 2 с.

Критерії прийнятності результатів випробування зазначаються в технічних умовах на кабель. Типові види відмов включають втрати оптичної неперервності, деградацію оптичних параметрів чи фізичне пошкодження кабелю.

5.3.5 Осьове закручування

Випробування на осьове закручування призначено установити спроможність ВОК протидіяти механічному осьовому закручуванню. Перше завдання цього методу полягає в тому, щоб виміряти будь-яке змінення коефіцієнта загасання через ОВ за умов впливу на зовнішню оболонку кабелю зусилля осьового закручування. Інше завдання полягає в тому, щоб оцінити можливість фізичного пошкодження, яке може виникнути внаслідок такого впливу. Випробування проводиться за методом Е7 [5.6].

Зразок повинен мати загальну довжину, достатню для застосування відповідного затискача та осевого закручування і достатньо довгу для проведення вимірювання значень коефіцієнта загасання ОВ згідно з технічними умовами на конкретний кабель.

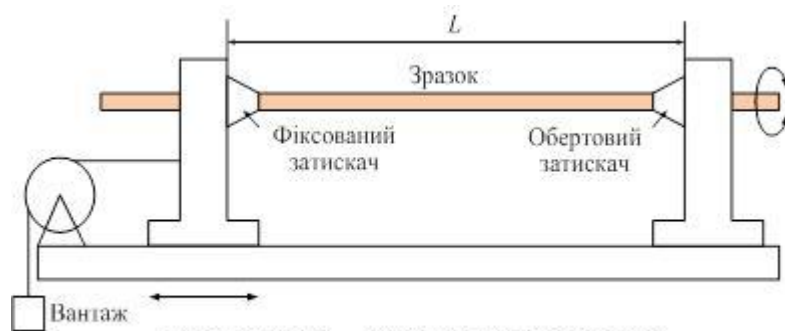


Рисунок 5.14 — Установка для осевого закручування ВОК з вантажем [5.6].

Установка для осевого закручування складається з двох пристроїв для фіксації кабелю чи затискачів: один фіксований та один обертовий, з відповідною регульованою між ними відстанню.

Обертовий затискач з'єднано з відповідним обладнанням обертання (наприклад, обертовий важіль). Типова установка наведена на рисунку 5.14. Для мінімізації відхилення зразка від прямої вісі, застосовують вантаж чи відповідний вантажний механізм для прикладання розтягувального зусилля до кабельного затискача.

Зразок встановлюють на випробувальну установку так, щоб випробувальна довжина L відповідала вимогам технічних умов на кабель. При цьому слід запобігати прикладанню будь-якого початкового навантаження на зразок. Щоб протягом випробування не переміщувались чи порушувались кінці зразка, слід по змозі унеможливити будь-яке кручення.

Якщо технічними умовами на кабель не заборонено, то перекошування зразка чи згин може бути мінімізовано, дотримуючись випробувальної довжини чи використовуючи натягання зразка кабелю між затискачами. Згідно з технічними умовами на кабель за потреби використовують натягання, щоб тримати зразок прямо. Зазвичай розтягувальне зусилля обирають згідно з таблицею 5.2.

Таблиця 5.2 — Використовуване розтягувальне зусилля

Номінальний діапазон діаметрів кабелю, мм	Мінімальне навантаження, Н
< 2,5	15
від 2,6 до 4,0	25
від 4,1 до 6,0	40
від 6,1 до 9,0	45
від 9,1 до 13,0	50
від 13,1 до 18,0	55
від 18,1 до 24,0	65
від 24,1 до 30,0	70
> 30,1	75

Якщо слід вимірювати змінення коефіцієнта оптичного загасання, вхідну оптичну потужність вимірюють на зразку після встановлення затискача та

застосування розтягувального навантаження. Після чого починають обертати рухомий кабельний затискач на 180° за годинниковою стрілкою, повертають його до вихідного положення, на 180° проти годинникової стрілки і знову повертають до вихідного положення. Цей повний рух з чотирма частинами складає один цикл. За відсутності інших вимог, кожний цикл закінчують у межах максимум 1 хвилини, для загальної кількості 10 циклів.

Після закінчення останнього, десятого, циклу проводять вимірювання параметрів критеріїв прийнятності. Зразок витримують протягом мінімум 5 хв. За необхідності, зразок може бути знято з установки для візуальної експертизи без застосування збільшуваних приладів.

Критерії прийнятності результатів випробування зразка зазначаються в технічних умовах на ВОК. Типові види відмов включають втрату оптичної неперервності, зростання втрат у волокні та пошкодження оболонки кабелю чи елементів осердя.

5.3.6 Петля

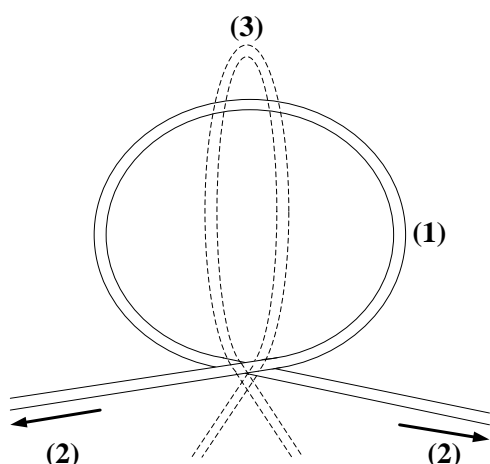


Рисунок 5.15 — Петля [5.6].

Випробування «Петля» призначено для визначення мінімального діаметра петлі у разі її утворення при прокладанні ВОК. Випробування проводиться за методом E10 [5.6].

Випробування не потребує ніякого специфічного обладнання. Для проведення випробування береться зразок довжиною достатньою для проведення зазначеного випробування.

Випробування проводиться наступним чином. Роблять петлю (1) як показано на рисунку 5.15. Діаметр петлі повільно зменшують тягнучи за обидва кінці до утворення петлі (2). Розтягувальні зусилля до кінців петлі слід прикладати в одній площині.

Якщо немає інших вимог, випробування провадять за нормальних кліматичних умов.

Зразок вважають таким що пройшов випробування, якщо відсутній перегин (3).

5.3.7 Намотування

Випробування «Намотування» призначене визначити стійкість ВОК чи його елементів під час намотування на випробувальну оправку. Випробування проводиться за методом E11A чи E11B [5.6].

Зразок має бути армованим з обох сторін так, щоб ОВ, покриття та будь-які силові елементи були з'єднані разом певним чином.

Установка з однією оправкою дає змогу намотати зразок щільною спіраллю на випробувальну оправку.

При проведенні випробування за методом E11A зразок намотують щільною однорядною спіраллю навколо оправки зі сталою швидкістю. Прикладання достатнього натягування гарантує обмотування зразком оправки. Зразок змотують. Цикл складається з одного намотування та одного змотування. Діаметр випробувальної оправки, кількість витків спіралі та кількість циклів мають зазначатись в технічних умовах на ВОК.

Випробування за методом E11B застосовують до армованих ВОК. При проведенні випробування за методом E11B зразок згинають навколо оправки на кут 180° та утримують тугим натягом вигинання. Цикл складається з одного U-подібного згину, послідовним знакозмінним U-подібногозгинанням та випрямленням. Діаметр випробувальної оправки та кількість циклів мають зазначатись в технічних умовах на ВОК.

Критерії прийнятності результатів випробування зазначаються в технічних умовах на ВОК. Типові види відмови включають втрати оптичної неперервності, деградацію оптичних параметрів чи фізичне пошкодження кабелю.

5.4 Методи випробувань характеристик стійкості до впливу чинників довкілля

5.4.1 Циклічне змінення температури

Випробування на циклічне змінення температури застосовують до випробовуваних ВОК для визначення стабільності загасання кабелів, що перебувають під впливом змінення температури. Випробування проводиться за методом F1 [5.6, 5.7].

При зміні температури, через різницю коефіцієнтів теплового розширення ОВ, силових елементів, оболонок та інших конструктивних елементів ВОК, виникають повздовжні згинання чи натягування ОВ. Це приводить до змін загасання ОВ.

Це випробування можна використовувати для контролю ВОК в температурному діапазоні, що може мати місце протягом збереження, транспортування та використання або перевірки кабелю в обраному температурному діапазоні (зазвичай ширшому, ніж для вищезгаданого випадку). Режим стабільності загасання суттєво пов'язаний із ситуацією довільних мікрозгинань ОВ всередині кабельних структур.

Випробування проводять на будівельній довжині ВОК, намотаній у бухту чи на барабан. Здатність волокна (волокон) пристосуватися до диференціального розширення та скорочення (наприклад, ковзаючи в межах кабелю) може залежати від радіуса згинання кабелю. Для зразка має бути створено умови, наближені до звичайних умов використання.

Потенційні проблеми можуть виникнути завдяки фактичній різниці між коефіцієнтами розширення випробуваного зразка та випробувальної оснастки (барабан, кошик, пластина тощо), яка може спричинити на протязі циклічного змінення температури істотний вплив на результат випробування, якщо умови відсутності впливу не виконано повністю.

Загальні рекомендації такі:

- діаметр намотування має бути досить великий, щоб зберегти здатність ОВ забезпечити диференціальне розширення та стискання. Діаметр намотування за необхідності може бути істотно більшим ніж значення, обране для будівельних довжин кабелю;
- будь-який ризик обмеження розширення (чи скорочення) кабелю, які можуть спричинити створені умови, має бути унеможливлений. Зокрема, спеціальних заходів слід вжити, щоб уникнути залишкового натягу на кабель протягом випробування. Наприклад, не рекомендується щільно намотувати кабель на барабан, оскільки це може обмежити скорочення кабелю за низької температури. З іншого боку, щільне багат шарове намотування може обмежувати розширення за високої температури;
- бажане вільне намотування, наприклад, великі діаметри барабана, барабани з м'якою прокладкою чи пристрої з нульовим натягом тощо.

За необхідності обмежити довжину кабелю під час випробування, можна з'єднати послідовно кілька волокон кабелю та виконати вимірювання з'єднаних волокон. Кількість з'єднань має бути обмеженою, місця з'єднань мають бути розташовані поза кліматичною камерою.

Установка для вимірювання впливу зміни температури на параметри ОВ містить в собі:

- відповідний засіб вимірювання для визначення зміни загасання;
- кліматичну камеру відповідного розміру для розміщення зразка, в якій похибка встановлення температури не перевищує $\pm 3^{\circ}\text{C}$ від заданої температури випробування.

До початку випробування зразок ВОК піддається візуальному огляду, після чого вимірюють величину загасання за початкової температури.

Зразок розміщують в кліматичній камері за температури довкілля.

Включають кліматичну камеру і знижують температуру в камері до зазначеної низької температури ТА за відповідної швидкості охолодження.

Після стабілізації температури в камері, зразок витримують за низької температури протягом відповідного періоду t_1 .

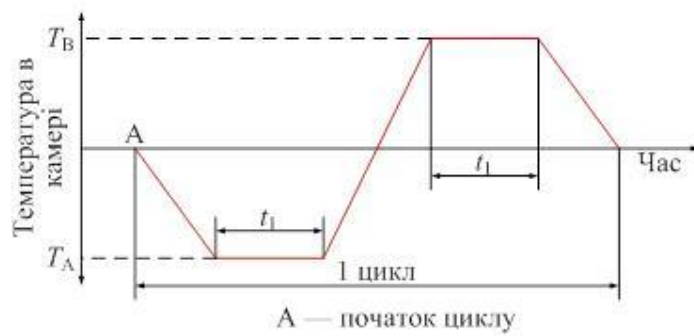


Рисунок 5.16 — Структура одного циклу випробувань [5.6].

Після цього температуру в камері підвищують до певного значення високої температури T_B за відповідної швидкості нагрівання. Після того, як температуру в камері буде застабілізовано, зразок витримують за високої температури протягом

відповідного періоду t_1 .

Після цього температуру в камері знижують до значення температури довкілля із зазначеною швидкістю охолодження. Ця процедура становить один цикл (рисунок 5.16).

Кількість циклів, зміну загасання, контрольні перевірки під час створення умов, та період(-и), після якого(-их) необхідно провадити контроль мають бути зазначені в технічних умовах на ВОК.

Перед видаленням з камери, випробовуваний зразок має досягти температурної стабільності за температури довкілля.

Критерії прийнятності результатів випробування зазначаються в технічних умовах на ВОК. Типові відмови включають втрату оптичної неперервності, деградацію коефіцієнта загасання чи фізичне пошкодження кабелю.

5.4.2 Водопроникність

Випробування на водопроникність застосовують до кабелів з неперервним водоблокуванням. Випробування призначено визначити здатність кабелю блокувати переміщення води вздовж встановленої довжини. Випробування проводиться за методом F5A чи F5B [5.6, 5.7] або методом 10–А чи 10–Б [5.8]. Метод F5A (10–А) призначено для випробування на проникнення води між контактною поверхнею осердя кабелю та зовнішньою оболонкою, тоді як метод F5B (10–Б) призначено для випробування на проникнення води по всьому перетину кабелю. Водопроникність слід перевіряти на зразках кабелю довжиною 3 м.

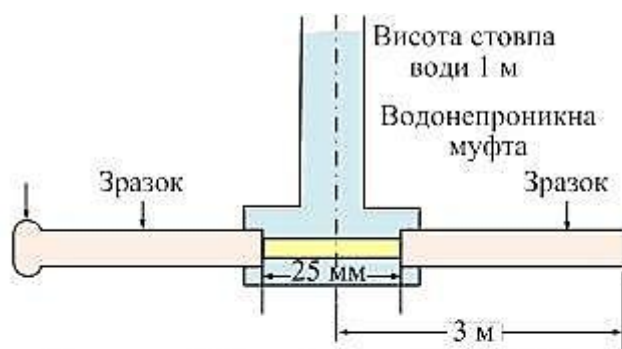


Рисунок 5.17 — Метод 5F–А[5.6].

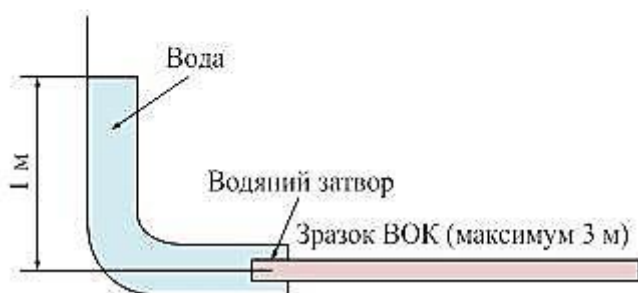


Рисунок 5.18 — Метод 5F–В [5.7].

При застосуванні методу F5A (рисунок 5.17) на відстані 3 м від одного кінця зразка кабелю видаляють (по колу) частину оболонки завширшки 25 мм.

Водонепроникна муфта повинна охоплювати відкрите осердя так, щоб перекрити виріз в оболонці для забезпечення дії на кабель водяного стовпа заввишки 1 м.

При застосуванні методу F5B (рисунок 5.18) використовують зразок кабелю на 1 м більший, ніж випробовувана довжина, що не перевищує 3 м.

З центральної частини зразка (обрізаючи його по краях) беруть відрізок кабелю максимальною довжиною 3 м.

Водонепроникну манжету треба прикладати до одного кінця зразка, щоб забезпечити вільний доступ водяного стовпа заввишки в 1 м.

За відсутності інших вимог, зразок слід витримати в горизонтальному положенні, а висоту стовпа води в 1 м слід підтримувати протягом 24 год, за температури $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$. Для виявлення витікання води слід використовувати водяний розчин флуоресцентного чи іншого відповідного барвника.

На вільному кінці зразка не повинно бути слідів води. У разі застосування флуоресцентного барвника для експертизи можна використовувати ультрафіолетове світло.

Перелік посилань до розділу 5

5.1 Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В., Дашенко А.Ф., Усов А.В. Волоконно-оптические кабели. Теоретические основы, конструирование и расчет, технология производства и эксплуатация. — Одесса: Астропринт, 2000. — 536 с.

5.2 Каток В.Б., Руденко І.Е. Волоконно-оптичні кабелі зв'язку. — К., Логос, 2013. — 334 с.

5.3 ГОСТ 20.57.408–81 Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний

5.4 IEC 60793–1–40 (2001) Optical fibres . Part 1–40: Measurement methods and test procedures. Attenuation.

5.5 ГОСТ 26814–86 Кабели оптические. Методы измерения параметров.

5.6 ДСТУ IEC 60794–1–2–2002 Кабелі оптичні. Частина 1–2. Загальні технічні умови. Основні методи випробувань оптичних кабелів (IEC 60794–1–2: 1999, IDT).

5.7 IEC 60794–1–22 Optical fibre cables – Part 1-22: Generic specification – Basic optical cable test procedures – Environmental tests methods.

5.8 ГОСТ 27893–88 Кабели связи. Методы испытаний.

6 З'єднання оптичних волокон під час монтажу волоконно-оптичних кабелів зв'язку

6.1 Основні методи реалізації нерознімних (зварних та механічних) з'єднань оптичних волокон

З'єднання ОВ можуть бути нерознімні та рознімні (рисунок 6.1). В даний час відомі наступні методи з'єднань ОВ: зварювання, склеювання та механічні з'єднання [6.1].

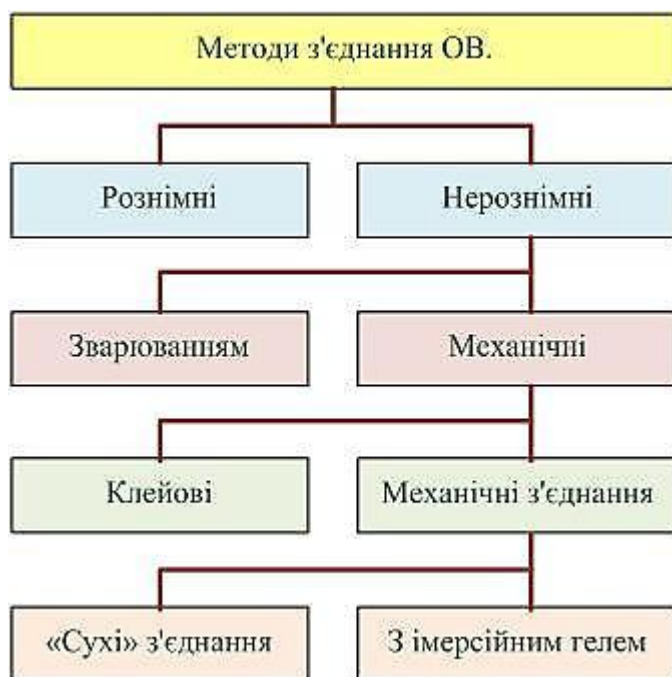


Рисунок 6.1 — Класифікація методів отримання з'єднань ОВ

Загалом процес з'єднання ОВ складається з чотирьох етапів:

- 1) підготування ОВ до з'єднання;
- 2) юстування ОВ;
- 3) з'єднання ОВ;
- 4) захист місця з'єднання.

Підготування ОВ до з'єднання є операцією, що багато в чому визначає якість процесу з'єднання.

Підготування ОВ до з'єднання зводиться до виконання двох послідовних операцій:

- 1) Видалення захисної оболонки;
- 2) Сколювання торцевої поверхні.

Видалення захисного покриття ОВ може виконуватись як механічними так і хімічними засобами.

Після видалення захисної оболонки переходять до сколювання ОВ. Сколювання ОВ виконується для утворення гладкої ("дзеркальної"), перпендикулярної до осі поверхні торця ОВ. Це як правило досягається шляхом

застосування спеціального сколюючого інструмента або поліровки торця ОВ в спеціальному фіксаторі.

Процес сколювання пояснюється на рисунку 6.2. Вивільнене від покриттів ОВ 2, обережно притискається до поверхні спеціальної оправки 3 і при слабкому натягненні на ньому, перпендикулярно до осі, спеціальним різцем 1, твердість якого в декілька разів перевищує твердість матеріалу ОВ (кварцового скла), наносять подряпину. Оправка вигинається, ОВ натягується на випуклій поверхні і під дією напруг, що виникають в ОВ, розколюється по подряпині. При правильному виконанні утворюється перпендикулярна до осі волокна дзеркальна поверхня. Сьогодні в світі випускається широкий асортимент, різних за виконанням та вартістю, інструментів для сколювання ОВ.

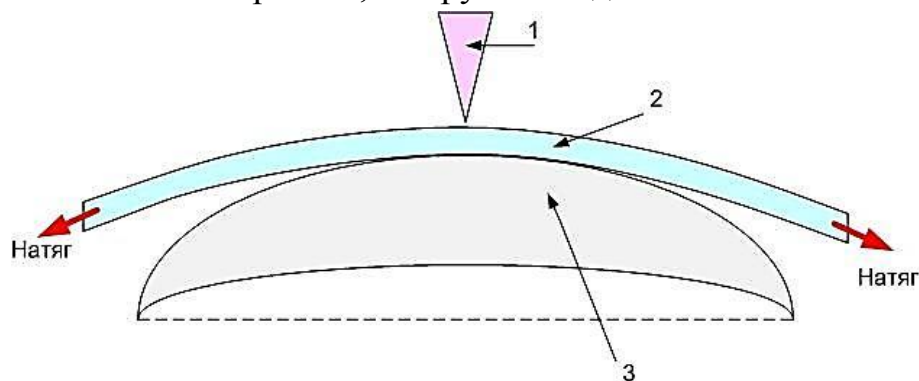


Рисунок 6.2 — Принцип роботи пристрою для сколювання торців ОВ [6.2].

Для зварних з'єднань кути відхилення від перпендикуляра торця серцевини мають бути меншими 1° для окремих ОВ і меншими $3...4^\circ$ – для стрічкових елементів. Інструмент для сколювання має забезпечувати ці значення за встановленої довжини оголеного ОВ.

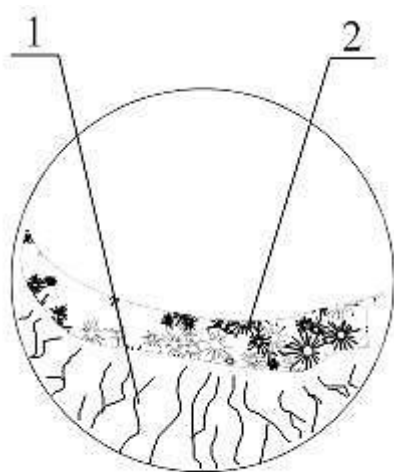


Рисунок 6.3 — Торцева поверхня сколеного ОВ [6.2]

Для механічних з'єднань можна виділити два типи: перпендикулярний скол, як за звичайного з'єднання, аналогічний куту для зварних з'єднань, та кутовий скол з кутом понад 4° . Останній робиться для зменшення відбиття між ОВ та узгоджувальним матеріалом при екстремальній температурі. В з'єднаннях з кутовим сколом зворотновідбитий сигнал розповсюджується назад в ОВ під кутом більшим за критичний, завдяки чому розповсюджується не в серцевині, а у відбиваючій оболонці ОВ, де розсіюється.

Часто, навіть при досить якісному, на перший погляд, сколі дзеркально гладкою залишається лише частина торцевої поверхні, тоді як на іншій частині поверхні з'являються, так звана, пір'яна зона 1 та зона туману 2 (рисунок 6.3).

Для уникнення цього виконують полірування торців при механічних способах з'єднань або попереднє оплавлення при зварюванні.

Після сколювання виконується перевірка якості торця ОВ. Перевірка якості, як правило, виконується за допомогою мікроскопа. На поверхні торців не повинно бути виступів, подряпин, обломів, зазубрин, пилу, грязі. Поверхня торця повинна бути перпендикулярна до осі ОВ (рисунок 6.4).

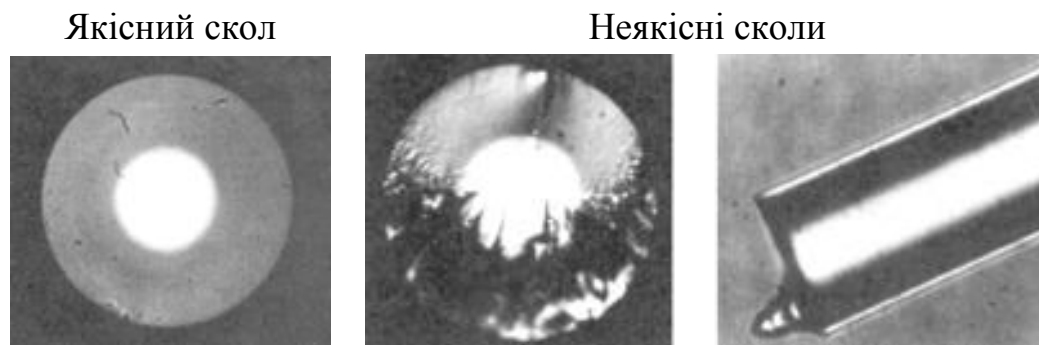


Рисунок 6.4 — Якість сколів

Найбільш розповсюдженим способом отримання нерознімних з'єднань ОВ є зварювання. Зварювання передбачає розплавлювання кінців ОВ у результаті розміщення їх у полі потужного джерела теплової енергії – полі електричного розряду. Зварювання ОВ виконується в такій послідовності:

1) Підготування торцевих поверхонь ОВ.

2) Юстування ОВ. Після встановлення кінців ОВ у напрямній системі зварювального апарату, виконують їх вирівнювання (юстування) (рисунок 6.5):

- первинне встановлення – кінці ОВ установлюються й виставляються відповідно до маркерів;
- знаходять мінімум втрат світла, що розповсюджується через серцевину, або знаходять серцевини ОВ, що з'єднуються;
- вирівнювання (юстування) серцевин за їхніми геометричними розмірами або за мінімумом втрат світла, що розповсюджується через серцевини ОВ;
- установка відстані між кінцями ОВ.

3) Попереднє оплавлення торців ОВ. Ця операція виконується з метою часткової ліквідації мікронерівностей, що виникають на торцевих поверхнях під час сколювання ОВ. Струм у режимі оплавлення сягає 10...12 мА. Іноді цю операцію називають термічною очисткою (fire cleaning).

4) Безпосереднє зварювання ОВ. При цій операції струм дуги сягає 12...16 мА.

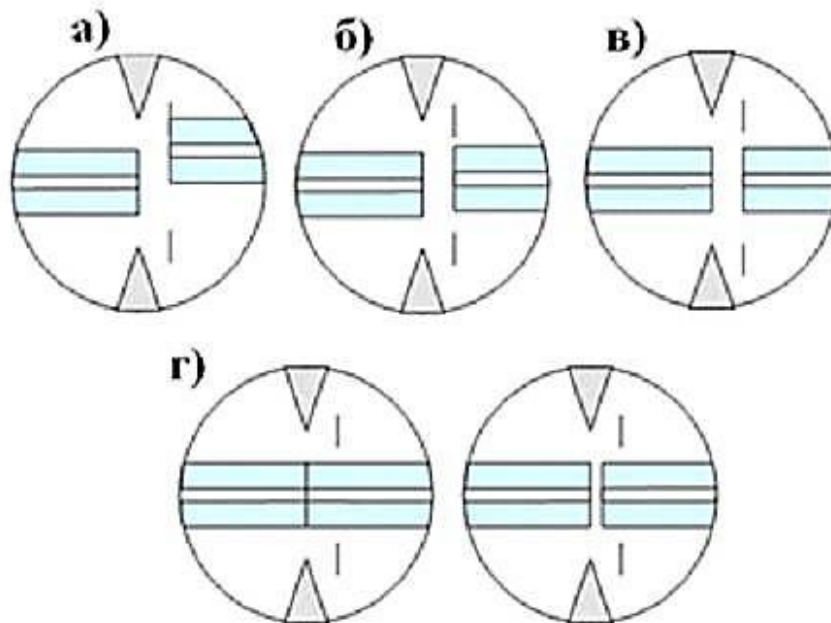


Рисунок 6.5 — Юстування ОВ [6.3].

Для реалізації зварного з'єднання ОВ розроблено ряд зварювальних апаратів. Зварювальні апарати можна класифікувати:

- за способом юстування кінців ОВ (за геометричними розмірами серцевин або за втратами світла, що розповсюджується через місце зварювання);
- за способом проведення операції (ручні та автоматичні); за типом контрольного пристрою (мікроскоп, монітор на рідких кристалах тощо);
- за кількістю ОВ, що зварюються (одноволоконні та багатоволоконні) [6.4].

Як видно з наведеної послідовності виконання операцій при зварюванні ОВ, існує два способи реалізації процесу юстування. Перший базується на вирівнюванні серцевин ОВ за їхніми геометричними розмірами (Profile Alignment System — PAS), шляхом використання бічного підсвітлювання кінців ОВ, що з'єднуються (рисунок 6.6).

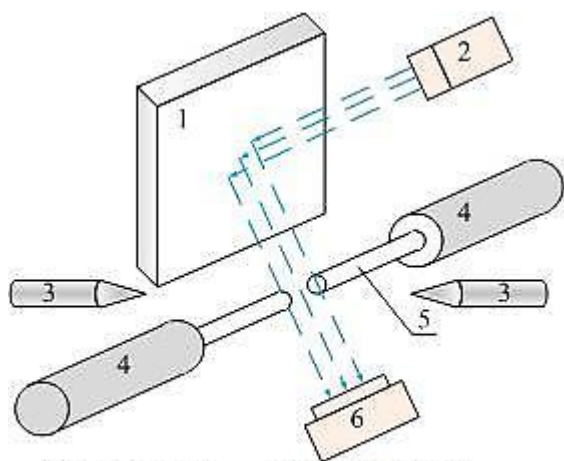


Рисунок 6.6 — Юстування за геометричними розмірами.

На рисунку 6.6 показано:

- 1 – зафіксоване дзеркало;
- 2 – джерело випромінювання;
- 3 – електрод;
- 4 – ОВ;
- 5 – ОВ без захисного покриття;
- 6 – камера детектора.

Другий спосіб (активний метод юстування) базується на вирівнюванні серцевин ОВ шляхом мінімізації втрат світла, що розповсюджується через ОВ і місце їх з'єднання. В даний час існує три методи активного юстування:

На рисунку 6.7 показано:

- 1 – джерело випромінювання;
- 2 – детектор;
- 3 – прокладена будівельна довжина ВОК;
- 4 – зворотній зв'язок;
- 5 – виведення оптичного сигналу;
- 6 – уведення оптичного сигналу;
- 7 – система юстування

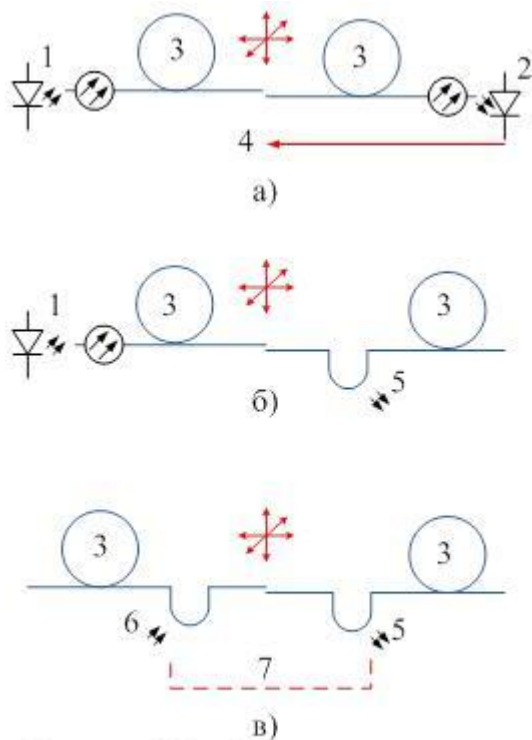


Рисунок 6.7 — Методи юстування з уведенням/знаходженням світла [6.5].

з'єднання. Оптичний сигнал виводиться з ОВ, що з'єднується, на невеликій відстані (наприклад, до 0,5 м) від місця з'єднання шляхом вигинання ОВ.

3) Третій метод (рис.6.7,в) є реалізацією LID (Local Injection and Detection) методу і являє собою процедуру юстування, що обмежена лише місцем з'єднання. В основі цієї процедури лежить уведення оптичного сигналу в серцевину першого ОВ та визначення його у серцевині іншого ОВ шляхом їхнього вигинання.

Метод LID є найбільш ефективним, оскільки на відміну від методу PAS, якість зварного з'єднання залежить не від індивідуальної майстерності

робітника, що виконує зварювання, а від зварювального апарату. До того, слід додати, що в сучасних апаратах, для керування процесами юстування та зварювання використовуються мікропроцесори, що дозволяє досягти мінімальних (менше 0,1 дБ) втрат на з'єднаннях (рисунок 6.8).

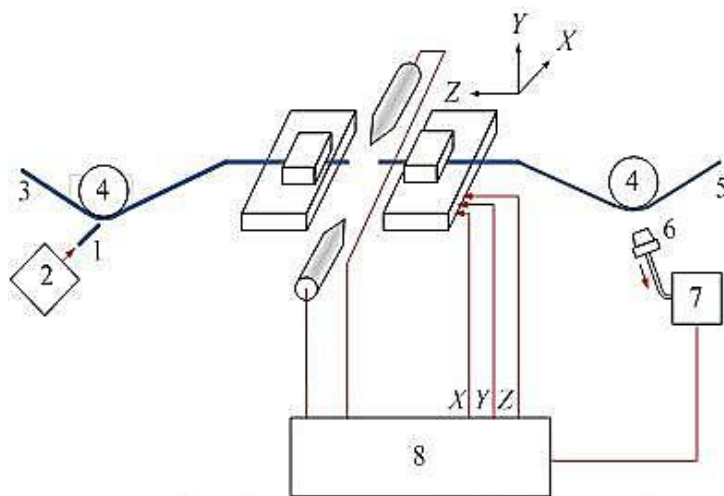


Рисунок 6.8 — Юстування по мінімізації втрат світла

На рисунку 6.8 показано:

- 1 — ОВ з великим діаметром серцевини;
- 2 — світловипромінювальний діод;
- 3 — 1-ше ОВ;
- 4 — оправка;
- 5 — 2-ге ОВ;
- 6 — фотодіод;
- 7 — підсилювач;
- 8 — мікропроцесор

Як зазначалось вище,

після юстування переходять безпосередньо до зварювання ОВ. Цей процес полягає у розведенні ОВ, їхньому попередньому оплавленні (гаряча очистка), з'єднанні ОВ та їх оплавлення. В процесі плавлення ОВ подаються одночасно для запобігання укорочення одного з них у місці зварювання. Ці операції (попереднє оплавлення та зварювання), як правило, виконуються автоматично. Для зняття механічної напруги у місці зварювання, в сучасних автоматичних зварювальних апаратах передбачено режим прогрівання місця з'єднання після зварювання. Такий режим називається режимом релаксації.

При з'єднанні ОВ методом зварювання важливими характеристиками є температура та точка плавлення скла. Може виникнути потреба в розробці спеціального циклу плавлення (час та величина струму як для попереднього оплавлення, так і для плавлення та релаксації) для різних типів ОВ, що з'єднуються методом зварювання (рис. 6.9 [6.6]).

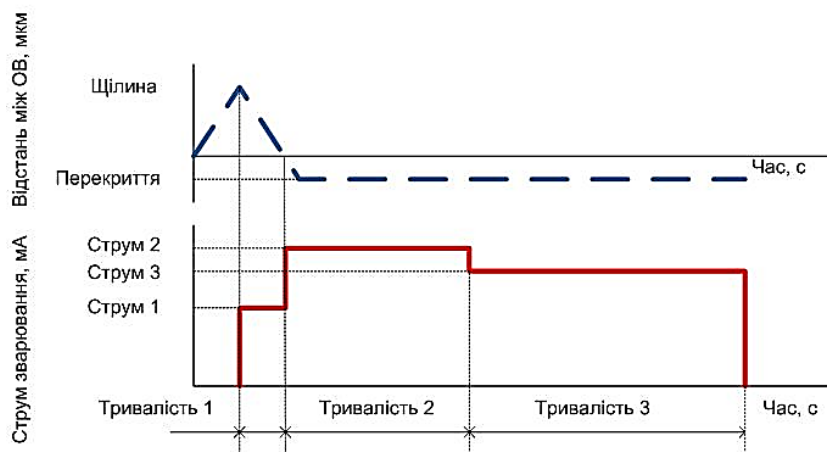


Рисунок 6.9 — Цикл зварювання ОВ автоматичного зварювального апарату.

При з'єднанні зварюванням ОВ, що мають неконцентричність серцевин, часто виникає порушення юстування серцевин внаслідок дії поверхневого натягу. Це порушення можна мінімізувати шляхом:

- зменшення часу плавлення, за рахунок піддавання зварюванню досить малої частини ОВ або зменшення довжини вільного кінця ОВ в зварювальному пристрої, дозволяючи кінцям ОВ переміщуватись на достатньо малу відстань в процесі зварювання;
- використання компенсаційних програм, таких як управління зміщенням серцевини за допомогою методу навмисного зміщення осей.



Рисунок 6.10 — Послідовність виконання з'єднання ОВ RTC методом.

Прикладом реалізації останнього метода може служити режим зварювання ОВ з концентричністю серцевин, що реалізовано в зварювальному апараті FSU 925 фірми Ericsson (Швеція). Цей режим отримав назву RTC (Real Time Control). В цьому режимі (рис. 6.10) після юстирування серцевин ОВ та проведення попереднього оплавлення відбувається компенсація поперечного зміщення серцевин в бік, протилежний розбіжності. Зварювання ОВ відбувається чередуванням коротких імпульсів струму високої інтенсивності з імпульсами струму низької інтенсивності (релаксаційними імпульсами). При цьому після зварювання в електричному полі імпульсу високої інтенсивності, в полі релаксаційного імпульсу відбувається переміщення ОВ під дією поверхневого натягу. Кількість чередувань імпульсів залежить від зміщення серцевин ОВ, яке

постійно контролюється зварювальним апаратом. Але, як правило, кількість імпульсів не перевищує 2–3 (рис. 6.11).

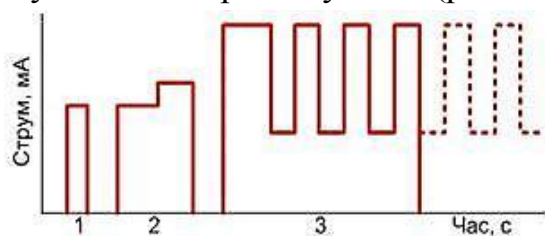


Рисунок 6.11 — Цикл зварювання ОВ в RTC режимі [6.6].

- 1 — очистка;
- 2 — попереднє оплавлення;
- 3 — зварювання

При з'єднанні стрічкових елементів методом зварювання, крім основних операцій: підготування ОВ (юстування, з'єднання та захист місця з'єднання) необхідно здійснити ще три ключові операції: усунення розбіжності торців ОВ, виконання плавлення усіх ОВ при одній і тій самій температурі, перевірка рівня загасання в з'єднанні.

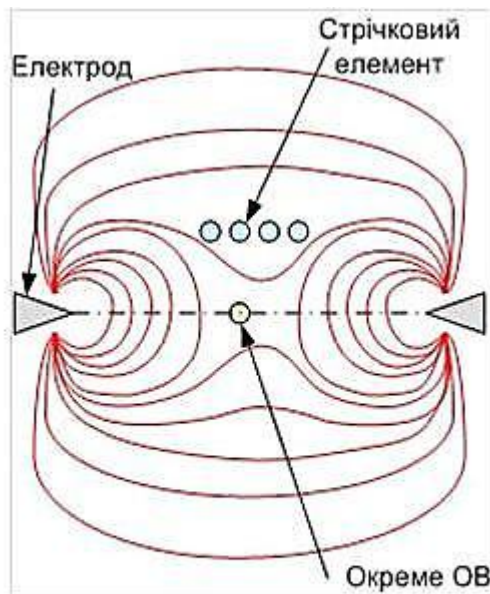


Рисунок 6.12 – Розподіл температури навколо електродів при виконанні операції зварювання [6.7].

Зварювання стрічкових елементів можливе лише при застосуванні повністю автоматичних зварювальних апаратів, за допомогою яких можна з'єднувати до 12 ОВ приблизно за 3 хвилини при середньому рівні втрат до 0,1 дБ. При зварюванні ОВ розміщуються з відповідним зміщенням від осі електродів, що забезпечує рівномірне нагрівання (див. рис. 6.12).

До початку процесу зварювання та після його завершення виконується перевірка зміщення ОВ, стану поверхні торців, а також деформації. Якщо перевірка показала, що результати не відповідають

вимогам, процес зварювання повторюють.

Після здійснення операції зварювання якість з'єднання перевіряється автоматично зварювальним апаратом, а потім вимірюванням за допомогою рефлектометра.

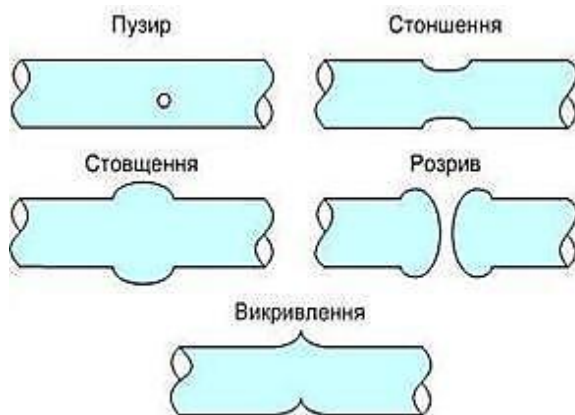


Рисунок 6.13 — Дефекти зварювання ОВ.

Таким чином контролюється рівень втрат в з'єднанні. Якщо рівень втрат перевищує норму приймається рішення про повторне з'єднання й усі операції виконуються знову.

Дефекти зварювання, які можна виявити візуально, поділяються на п'ять типів: наявність пухирів, стоншення, стовщення, нестикування (розрив) та викривлення (рис. 6.14).

Причини та способи видалення дефектів наведено в табл. 6.1.

Якість з'єднання оптичних волокон сильно впливає на величину втрат в місці з'єднання (рис.6.14).

На величину втрат на з'єднанні впливає також втрати:

– Втрати за умови з'єднань волокон з різними числовими апертурами, коли числова апертура волокна, з якого сигнал виходить (NA_1), більша від

апертури волокна, в котре сигнал входить (NA_2): $A_{NA} = 10 \cdot \lg \left(\frac{NA_1}{NA_2} \right)^2$.

- Втрати в наслідок різних діаметрів з'єднаних волокон, коли діаметр волокна, з якого сигнал виходить (D_1), більший від діаметра волокна, в котре сигнал входить (D_2): $A_D = 10 \cdot \lg \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2$.
- Втрати внаслідок не концентричності серцевини і оболонки волокон, що з'єднуються.
- Втрати внаслідок некруглості серцевини і оболонки волокон, що з'єднуються.
- Втрати внаслідок відхилень товщини оболонки волокон.

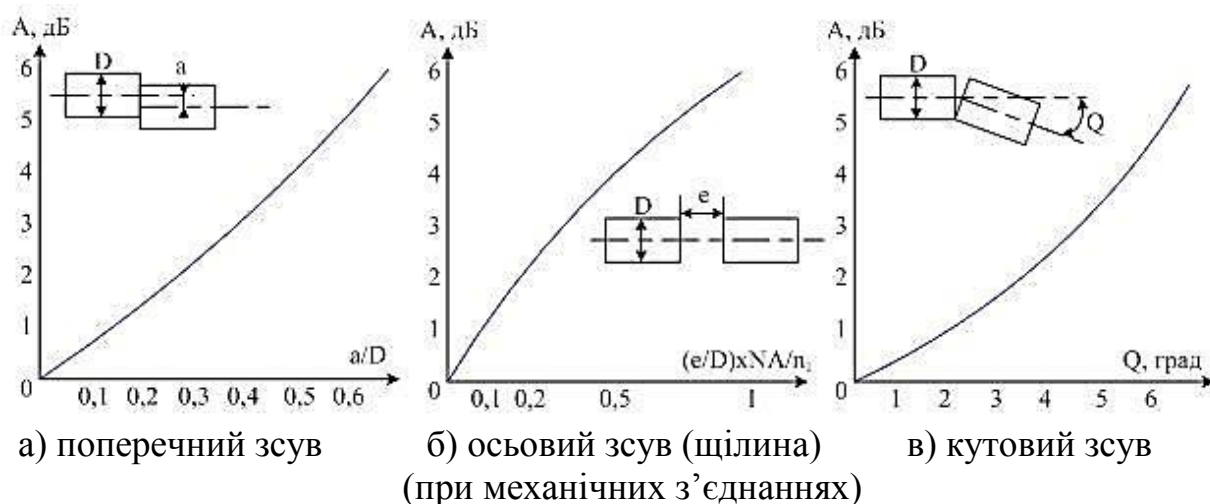


Рисунок 6.14 — Вплив якості з'єднання на величину втрат на з'єднанні.

Таблиця 6.1 — Дефекти зварних з'єднань ОВ

Дефект	Причина	Спосіб видалення
Пузир	Неякісний скол або бруд на кінці ОВ	Повторні скол ОВ та зварювання. При постійному отриманні неякісного сколу, слід замінити сколювач
Стоншення	Невірне (сильне) розтягування	Повторні скол ОВ та зварювання
Стовщення	Невірне (слабке) розтягування	Повторні скол ОВ та зварювання
Розрив	ОВ не зведені разом або надто великий струм при зварюванні	Повторні скол ОВ та зварювання
Викривлення	Неперпендикулярні торці ОВ або надмірне зведення кінців ОВ	Повторні скол ОВ та зварювання. При постійному отриманні неперпендикулярного сколу, слід замінити сколювач

Узагальнена технологія отримання зварного за Рекомендацією ITU-T L.12 з'єднання приведена на рисунку 6.15.



Рисунок 6.15 — Узагальнена процедура отримання зварного з'єднання [6.8].

Після отримання зварного з'єднання місце з'єднання захищається шляхом термічного усаджування комплексу деталей для захисту місця зварювання (рисунок 6.16).

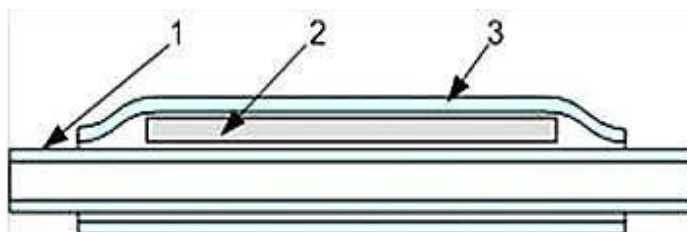


Рисунок 6.16 — Комплект деталей для захисту місця зварювання [6.9].

- 1 — гільза;
- 2 — металевий стрижень;
- 3 — термоусадна трубка

Конструкція захисту може також включати термоусаджувальну трубку, обжимний каркас, відновлене захисне покриття та захисну капсулу. Захист для зварних з'єднань окремих ОВ має бути спроможним захищати ОВ з номінальними діаметрами 250

мкм, 900 мкм або їх комбінації. Зазвичай, будь який захист потребує застосування певного типу інструмента.

Іншим способом отримання нерознімних з'єднань ОВ є склеювання. До переваг цього способу слід віднести: оперативність, відсутність деформації серцевин ОВ, що з'єднуються. Це сприяє отриманню малих втрат, відсутності напруги в області стику, достатній міцності тощо. Однак, обмежений строк служби та часова нестабільність втрат в клейових з'єднаннях стримує широке застосування цього методу отримання нерознімних з'єднань.

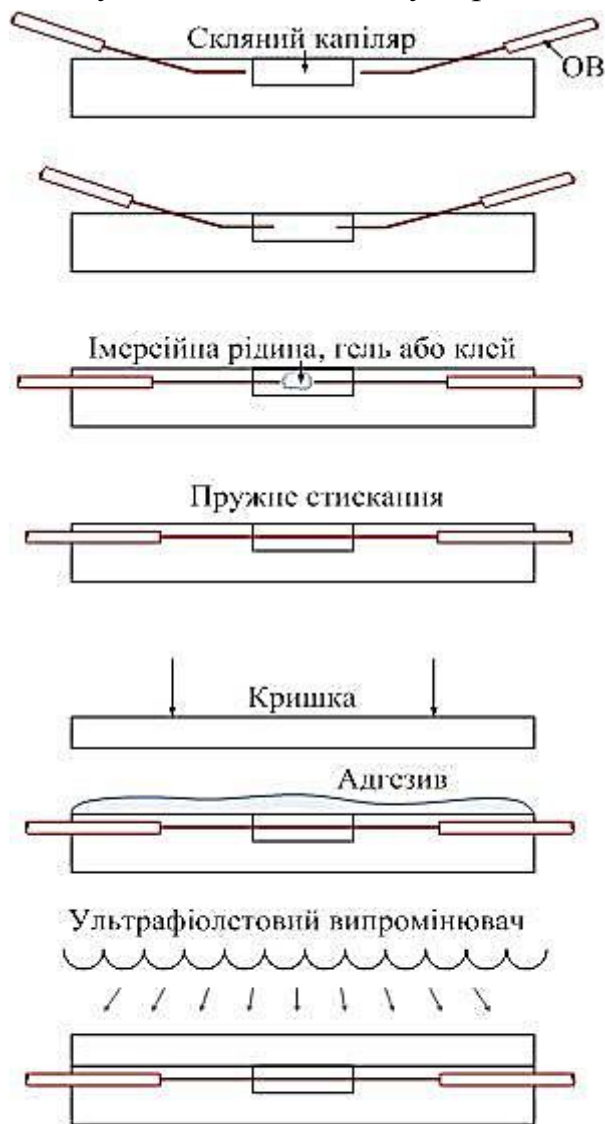


Рисунок 6.17 – Технологія отримання клейових з'єднань за допомогою капіляра [6.10].

Для отримання клейових з'єднань використовують суміщення та фіксацію ОВ: в капілярі, в прямокутній трубці, за допомогою V – подібної канавки, за допомогою стрижнів.

Узагальнена технологія отримання таких з'єднань за допомогою капіляра має такі етапи (рисунок 6.17):

- 1) підготування ОВ до з'єднання;
- 2) введення ОВ у капіляр;
- 3) нагнітання імерсійної рідини, гелю або клею;
- 4) регулювання з'єднання, юстування ОВ;
- 5) нанесення шару адгезивної речовини;
- 6) полімеризація адгезиву ультрафіолетовим опромінюванням.

Останнім часом широкого застосування набуло з'єднання ОВ за допомогою механічних з'єднувачів. Це зумовлено низкою позитивних якостей з міркувань економії та надійності при розбудові мереж доступу на внутрішньо будинковому

(абонентському) сегменті мережі. Крім того, отримання з'єднань за допомогою механічних з'єднувачів займає не більше 3 хв. і може виконуватись робітниками порівняно низької кваліфікації. Натомість виконання зварних з'єднань є досить трудомістким і вимагає більш високої кваліфікації обслуговуючого персоналу. Крім того, втрати в зварних з'єднаннях суттєво залежать від режимів зварювання, а сама операція вимагає великих витрат часу на один стик, необхідність юстування тощо.

З широкого кола задач, що вирішуються при створенні механічних з'єднувачів ОВ, як першочергова, може бути виділена задача конструювання з'єднувачів для найбільш широко використовуваних в даний час систем з модуляцією інтенсивності світла. В таких з'єднувачах втрати світла при його передачі з одного ОВ в інше повинні бути мінімальні, самі з'єднувачі – мати високу ремонтпридатність, а їх збирання та монтаж – як простішими.

В світловодних системах, що побудовані на одно- та багатомодових ОВ з малим загасанням (менше 0,5...0,7 дБ/км), вимоги до значення втрат в з'єднаннях найбільш жорсткі. Тому недоцільно в подібних лініях використовувати з'єднувачі із загасанням більшим 0,1 дБ. Для відносно коротких ліній міжстанційного зв'язку, абонентських та локальних мереж передачі інформації, де вимоги до ОВ менш жорсткі, можуть використовуватись відносно прості і дешеві з'єднувачі з більшими значеннями втрат.

Існує безліч різних видів механічних з'єднувачів. Однак всі вони вимагають виконання сколів ОВ, а іноді також поліровки торців ОВ в процесі їх підготування до з'єднання. Юстування та з'єднання ОВ виконується в спеціальній спрямовуючій системі з наступною їх фіксацією по місцю.

Для узгодження стику ОВ в механічних з'єднувачах можуть використовуватись різні рідини, гелі, мастила та адгезиви. Оскільки рідини важко утримуються і легко забруднюються, то їх рідко використовують в механічних з'єднувачах. Мастила теж рідко використовуються в механічних з'єднувачах, бо вони не тверднуть і не забезпечують надійного оточення стику. Гель – рідкий матеріал, який після отвердіння набуває стійкої форми і надійно забезпечує оптичний контакт, зберігаючи при цьому свої характеристики протягом усього терміну служби, що й визначило його широке застосування.

Механічні з'єднувачі можуть бути активними, в яких є можливість вирівнювати та оптимізувати положення ОВ по мінімуму втрат, і пасивними.

За можливостями повторного використання механічні з'єднувачі можуть бути одноразового та багаторазового використання.

У світі існує безліч конструкцій механічних з'єднувачів, але не всі вони використовуються на теренах зв'язку. Серед тих, що використовуються, найбільш широкого застосування отримали механічні з'єднувачі, які детальніше будуть розглянуті нижче.

Механічний з'єднувач ОВ типу Fibrlok (рис. 6.18) складається з трьох частин – пластмасо-алюмінієвої основи 1, металевого елемента 2 із м'якого алюмінієвого сплаву, всередині якого виконується з'єднання ОВ 3, та пластмасової кришки 4. ОВ вводять в з'єднувач крізь отвори. Для оптичного

узгодження в місці стику кінців ОВ, що з'єднуються, використовується спеціальний гель 5.

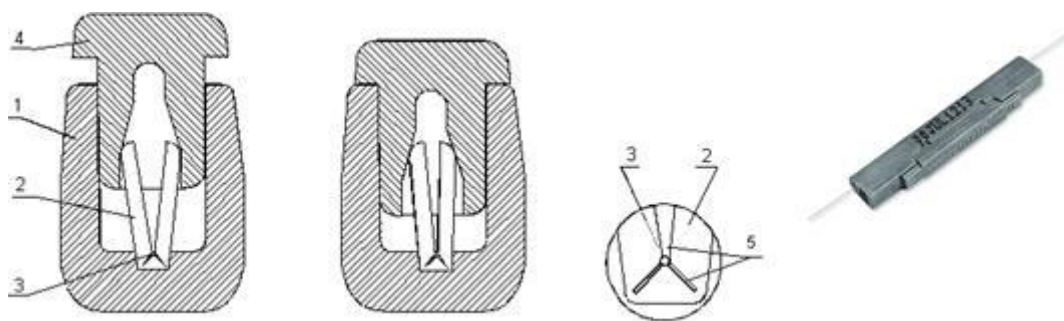


Рисунок 6.17 — Механічний з'єднувач Fibrllok

З'єднувачі Fibrllok використовуються для з'єднання багатомодових та одномодових ОВ. Загасання в з'єднанні не перевищує 0,2 дБ (для більш ніж 90% з'єднань); дозволене зусилля на розтягування 0,34 кг; діапазон робочих температур мінус 40 ... плюс 80°C; втрати на відбиття 45 дБ; потрібний для здійснення одного з'єднання час – не більше 3 хвилин; термін служби – 30 років [6.11].

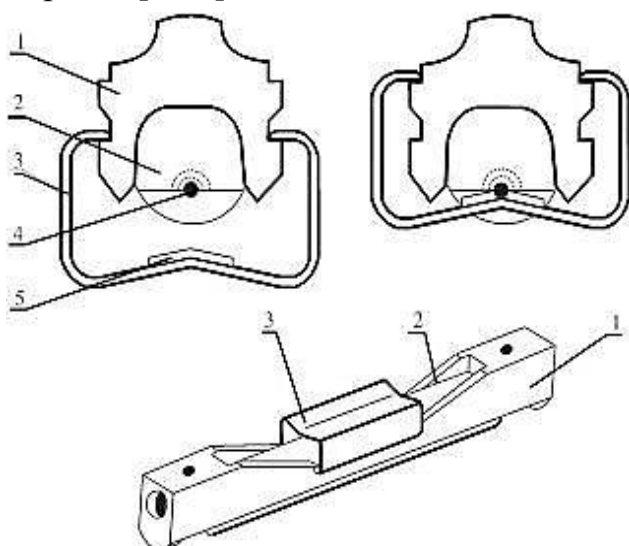


Рисунок 6.19 — Механічний з'єднувач CSL LightSplice

Механічний з'єднувач CSL LightSplice являє собою польовий з'єднувач, що призначений для отримання постійних та тимчасових з'єднань ОВ із зовнішнім діаметром захисного покриття 250 або 900 мкм.

З'єднувач складається з прозорого пластикового корпусу 1, скляної капілярної трубки 2 та металевої пружини 3 з тонким прошарком еластичного матеріалу 5, розміщеного вздовж усієї контактної поверхні пружини (рисунок 6.19).

Прозорий матеріал корпусу дає змогу візуально контролювати процес з'єднання ОВ 4. Для мінімізації втрат використовують спеціальний гель, який вводиться в проміжок між ОВ.

Перевагою даного з'єднувача є швидкість та легкість отримання з'єднання, а також можливість використання на всіх ступенях мереж зв'язку: магістральних, абонентських, локальних, інформаційних і мережах керування та телеметрії.

Даний з'єднувач призначений для роботи в широкому діапазоні робочих температур. Втрати на з'єднання одно- та багатомодових ОВ не перевищує 0,2 дБ. Втрати на відбиття не менше 50 дБ. Час потрібний для монтажу одного з'єднувача 2...3 хв.

Механічний з'єднувач обертального типу RMS (Rotary Mechanical Splice) є найбільш складним серед вище перелічених, але він дозволяє досягти найменших втрат у з'єднаннях одномодових ОВ. На відміну від попередніх з'єднувачів, де величина втрат головним чином залежить від якості сколу торцевих поверхонь ОВ, RMS дозволяє юстувати ОВ простим обертанням двох скляних втулок, які утримують підготовлені кінці ОВ (рис. 6.20).

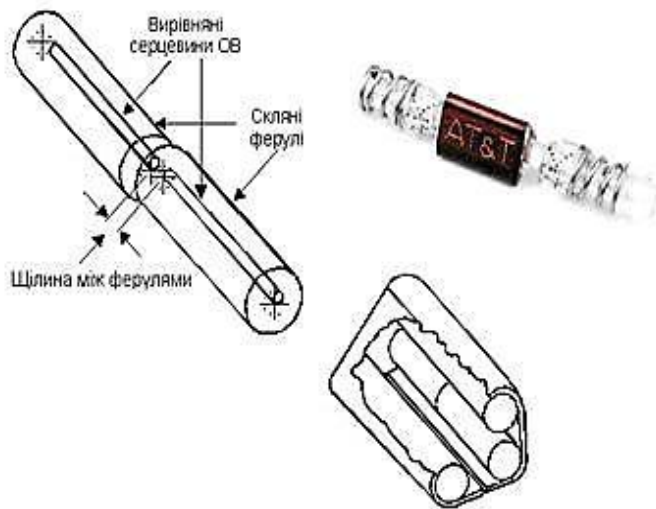


Рисунок 6.20 — Механічний з'єднувач RMS.

З'єднувач складається з двох втулок з капілярами. ОВ вкладаються в капіляри після попереднього нанесення на них адгезиву. Після полімеризації адгезиву ультрафіолетовим опромінюванням, кінці ОВ, що виступають за межі втулки обламуються і шліфуються. Після підготування ОВ, втулки розміщуються в середині вирівнювальної муфти, що являє собою трикутник, в кожному куті якого розміщені напрямні стрижні. Ці стрижні міцно утримують втулки, при цьому дозволяючи їм обертатись навколо своєї вісі. Втрати в з'єднанні постійно контролюються шляхом вимірювання потужності за допомогою спеціально розробленого вимірювального блоку. Змонтований з'єднувач фіксується в муфті за допомогою спеціальних пружин, що працюють на стиск [6.12].



Рисунок 6.21 — Механічний з'єднувач CORELINK [6.13].

Середні втрати на з'єднаннях одномодових ОВ без активного регулювання складають 0,2 дБ, а з регулюванням — 0,05 дБ, багатомодових відповідно 0,25 та 0,1 дБ. Втрати на відбиття не менше 50 дБ. Діапазон робочих температур від мінус 40°C до плюс 80°C. Час на монтаж одного з'єднувача 7...8 хв.

Механічний з'єднувач CORELINK призначається для механічного з'єднання одномодових та багатомодових ОВ з діаметром оболонки 125 мкм. З'єднувач (рисунок 6.21) складається з алюмінієвого елемента для юстування та з'єднання ОВ, що розміщується в прозорому

корпусі. Корпус, крім того що утримує алюмінієвий елемент, працює також на стискання, за допомогою якого досягається фіксація ОВ, що з'єднуються.

При монтажі підготовлені ОВ після повороту спеціального ключа на кут 90° , який розсуває стінки корпусу і відкриває вхід до спрямовуючого алюмінієвого елемента, вводяться у корпус з'єднувача до спеціальної позначки, що забезпечує потрібний проміжок і запобігає пошкодженню торців ОВ. Після цього ОВ через відкритий вхід вводяться в алюмінієвий спрямовуючий елемент до повного контакту. Потім ключ повертається у вихідне положення і виймається. При цьому стінки корпусу сходяться і надійно фіксують ОВ. Для оптичного узгодження в місці стику кінців ОВ використовується спеціальний гель. З'єднувач може використовуватись багаторазово.

Рівень втрат, що вносяться з'єднувачем, до 0,1 дБ. Втрати на зворотне відбиття порядку 55 дБ. Діапазон робочих температур від мінус 40°C до плюс 80°C . Час на монтаж одного з'єднувача не перевищує 3 хв.

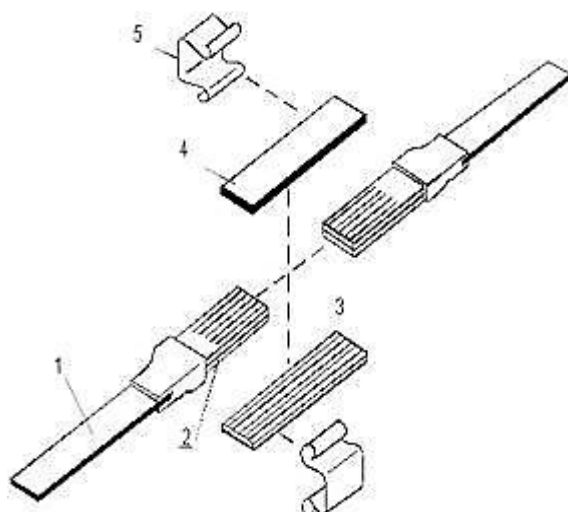


Рисунок 6.22 — Механічний з'єднувач Array Splice [6.14].
1 — стрічковий елемент;
2 — блок з'єднувача;
3 — кінці ОВ;
4 — еластична муфта;
5 — пружинні затиски.

Однотимчасне з'єднання кількох ОВ стрічкових ВОК виконується згідно із основними положеннями, що були перелічені вище. Однак це пов'язано з більшою складністю при юстуванні та розміщенні ОВ. Число ОВ у з'єднанні повинно відповідати кількості ОВ в одному стрічковому елементі кабелю, а саме з'єднання повинно бути виконано у вигляді єдиного модуля.

З точки зору мінімального загасання в місці з'єднання ОВ важливо використовувати з'єднувальні модулі з різними геометричними характеристиками. Для цього переважно використовуються модулі, що мають

форму паралелепіпеда. Матеріали, що використовуються при цьому, повинні зберігати свою стабільність в часі і не залежати від зміни температури та вологості.

Прикладом механічного з'єднувача для стрічкових елементів може слугувати силіконовий з'єднувач Array Splice (рисунок 6.22). Юстування ОВ в з'єднувачі досягається за допомогою елементів із V – подібними канавками. Кожний модуль з'єднувача розраховано на розміщення ОВ одного кабелю. Торці ОВ поліруються. Два модулі стикуються з третім елементом механізму юстування і кріпляться за допомогою клею.

В іншій конструкції з'єднувача Rapid Ribbon Splice (рис. 6.23) використовуються стрічкові елементи 1, в яких ОВ зачищаються та розділяються. ОВ 2 обох стрічкових елементів юстируються в спільних пазах безкорпусного елемента (підкладки) 3, що виготовлена з пластмаси зі скловолоконним зміцненням. ОВ закріплюють в пазах і захищають за допомогою кришки-футляра 4 та еластичних муфт 6, утворюючи складну конструкцію. Цей пристрій має спеціальні пружинні затиски 5. Величина втрат у з'єднанні, як правило не перевищує 0,3 дБ.

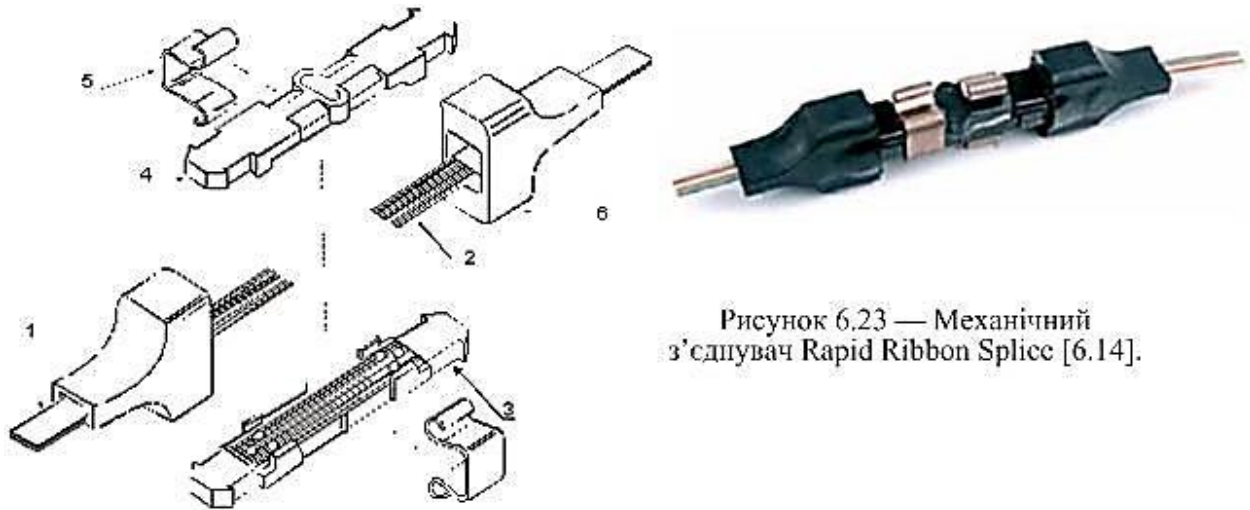


Рисунок 6.23 — Механічний з'єднувач Rapid Ribbon Splice [6.14].

Узагальнена процедура виконання механічного з'єднання за Рекомендацією ITU-T L.12 наступна:

1. Ідентифікація ОВ;
2. Підготовка торців ОВ: зняття захисної оболонки, очищення, сколювання або шліфування та полірування.
3. Збирання з'єднувача;
4. Вимірювання втрат.

6.2 Типи та технічні характеристики рознімних з'єднувачів ОВ (конекторів), характеристики фізичних контактів

Потреба в рознімних з'єднаннях виникає при багаторазовому підключенні ОВ до джерел випромінювання, фотоприймачів, оптичних кросів та стикування ОВ між собою. При цьому повинні бути забезпечені мінімальні втрати в місцях з'єднань. Конструктивні рішення рознімних з'єднань суттєво розрізняються, що обумовлено специфічними особливостями активних елементів лінійного тракту: джерела випромінювання (світлодіода, лазерного діода) та фотодетектора.

Рознімні з'єднувачі можна класифікувати за [6.15]:

- типом кабелю, що використовується;
- типом ОВ;
- системою вирівнювання ОВ;
- кількістю з'єднуваних ОВ;
- механізмом з'єднання;
- зовнішнім діаметром феруля (2,5 мм або 1,25 мм);
- способом під'єднання до ОВ (“штекер – гніздо” або “штекер – адаптерний штекер”).

Найбільш поширеними механізмами з'єднання є [6.15]:

- двотактний механізм (замок типу pull-push);
- різьбовий механізм;
- байонетний замок.



**Рисунок 6.24 —
Загальний вигляд
рознімних з'єднувачів
різних типів.**

Найбільш широкого застосування набули рознімні з'єднувачі штекерного типу. Основними елементами таких рознімних з'єднувачів є два штекери-кінцевика (ферулі), в яких закріплюються ОВ.

На сьогодні у світі розроблено понад 70 типів рознімних з'єднувачів. Зовнішній вигляд та характеристики найбільш

розповсюджених типів рознімних з'єднувачів наведено на рис. 6.24 та в табл. 6.2 – 6.4 [6.16].

Таблиця 6.2 – Основні типи оптичних рознімних з'єднувачів

Тип рознімного з'єднувача	Опис
Biconic	Застосовується для одномодових (ОМ) та багатомодових (БМ) ОВ. Один з перших рознімних з'єднувачів. Застосовується рідко.
D4	Застосовується для ОМ ОВ та БМ ОВ. Має ключ та гвинтове з'єднання. Застосовується рідко.
FC	Застосовується для ОМ ОВ та БМ ОВ. Застосовується як на локальних так і на транспортних телекомунікаційних мережах.
FDDI	Застосовується для БМ ОВ комп'ютерних мереж. Спарений на 2 ОВ. Пластмасовий корпус з пластмасовими або керамічними ферулями.
LC	Застосовується для ОМ ОВ та БМ ОВ. Малогабаритний з'єднувач. Ідеально підходить за умов щільного монтажу.
MPO/MPT	Багатоволоконний з'єднувач. Підходить для умов щільного міжблочного монтажу телекомунікаційних систем. З'єднувачі MPO/MPT можуть з'єднувати до 12 ОВ.
MTRJ	Застосовується для ОМ ОВ та БМ ОВ. Малогабаритний з'єднувач, аналогічний за конструкцією стандартному роз'єму RJ—45, що забезпечує надійний замикаючий механізм. Спарені ферулі ідеально підходить для умов щільного монтажу. Адаптери MTRJ займають той самий простір, що сімплексний SC адаптер і відповідають вимогам ANSI/TIA/EIA.
MU	Застосовується для ОМ ОВ та БМ ОВ. Малогабаритний з'єднувач, який має розміри приблизно в половину розміру стандартного з'єднувача SC і є його мінімізованою копією. Мають низький рівень втрат, що вносяться, і тривалу надійність.
SC	Застосовується для ОМ ОВ та БМ ОВ. Застосовується як на локальних так і на транспортних телекомунікаційних мережах. Пластмасовий корпус з керамічним ферулем. Малі розміри дозволяють застосування в умовах щільного монтажу.
SMA	Застосовується для БМ ОВ рідко.
SMC	З'єднувач SMC зараз на розгляді Комітетом із стандартизації 604 ANSI/TIA/EIA як з'єднувач промислового стандарту. Він проектується для використання з 12-ти волоконними оптичними стрічковими елементами і використовує ферулі MT. Розроблено три модифікації SMC з'єднувачів, які призначені для застосування з ОВ та ВОК.
ST	Застосовується для ОМ ОВ та БМ ОВ як на локальних так і на транспортних телекомунікаційних мережах. Корпус та ферулі виробляють з різних матеріалів, у тому числі з пластмаси і металу.
LSH (E2000)	Застосовується для ОМ ОВ та БМ ОВ. Застосовується як на локальних так і на транспортних телекомунікаційних мережах. Пластмасовий корпус та керамічний феруль. Досить популярний в Європі.

Таблиця 6.3 – Характеристики основних типів рознімних з'єднувачів

Тип рознімного з'єднувача	Конструктивна особливість			Застосовувані ОВ
	Корпус	Феруль	Кріплення	
SMA	Металевий	Металевий циліндричний	Різьбове	Багатомодові
Biconic	Пластиковий	Керамічний конічний	Різьбове	Одномодові та багатомодові
ST	Металевий	Керамічний циліндричний	Байонетний замок	Одномодові та багатомодові
D4	Металевий	Металевий циліндричний	Різьбове	Одномодові та багатомодові
FC	Металевий	Металевий або керамічний циліндричний	Різьбове	Одномодові та багатомодові
SC	Пластиковий	Цирконієвий циліндричний	Замок типу Pull-Push	Багатомодові
LSH (E—2000)	Пластиковий	Керамічний циліндричний	Замок типу Pull-Push	Одномодові та багатомодові
LC	Пластиковий	Цирконієвий циліндричний	Замок типу Pull-Push	Одномодові та багатомодові

Таблиця 6.4 – Матеріали, що застосовуються для виготовлення ферулів оптичних рознімних з'єднувачів

Матеріал	Пояснення
Кераміка	Застосовується для з'єднувачів ОМ ОВ та БМ ОВ. Найміцніший і найстабільніший матеріал, що застосовується для виготовлення рознімних з'єднувачів.
Полімер	Композитна пластмаса використовується в деяких з'єднувачах БМ ОВ та в рознімному з'єднувачі типу biconic. Більш дешевий ніж кераміка.
Нержавіюча сталь	Застосовується лише для з'єднувачів БМ ОВ.

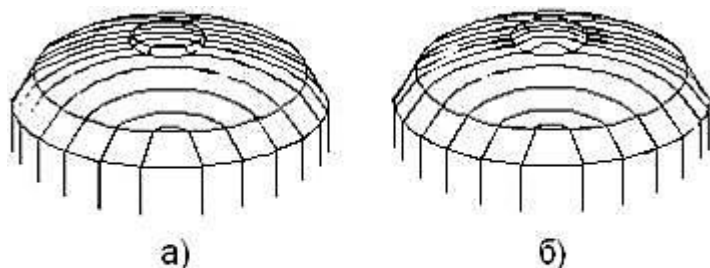


Рисунок 6.25 – Торцеві поверхні штекерів рознімних з'єднувачів із Super PC (а) та Ultra PC (б) фізичними контактами [6.17]

Однією, чи не головною, з причин виникнення втрат в рознімних з'єднувачах є наявність френелівського відбиття, що має місце на границі розділу двох середовищ. З метою мінімізації рівня цих втрат було запропоновано кілька способів зашпорювання та підготування торців ОВ в з'єднувачах [6.17]. Один з таких способів отримав назву «фізичний контакт» (Physically Contact – PC). При цьому способі ОВ фіксуються у ферулі, після чого їх кінці певним чином поліруються з метою досягнення повного контакту торцевих поверхонь. В залежності від ступеня та форми полірування торцевих поверхонь розрізняють

«супер фізичний контакт» (Super Physically Contact – SPC) та «ультра фізичний контакт» (Ultra Physically Contact – UPC) (рис. 6.25).

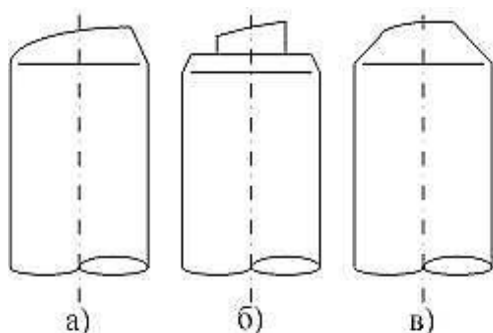


Рисунок 6.26 — Основні методи отримання кутового фізичного контакту: уніформа (а), сходишка (б) та конус (в)

Іншим способом зниження рівня потужності відбитого сигналу є метод полірування торців ОВ під кутом 7...12° від перпендикуляра до осі ОВ.

Зниження рівня френелівського відбиття досягається тому, що відбитий промінь намагається розповсюджуватись з більшим кутом ніж кут, під яким ОВ може його прийняти. Рівень втрат в різних з'єднувачах із кутовим поліруванням торців

ОВ дещо більший ніж за наявності фізичного контакту, але їх можна знизити за рахунок створення фізичного контракту (Angle Physically Contact – APC). На рис. 6.32 наведено три основні методи отримання APC контакту.

Класифікацію основних типів PC контактів приведено у таблиці 6.5.

Передавальні характеристики основних типів оптичних рознімних з'єднувачів подано у таблиці 6.6.

Таблиця 6.5 – Типові контакти оптичний рознімних з'єднувачів

Тип контакту	Опис
Angle PC	Торцева поверхня з'єднувача механічно оброблена так, щоб досягти збільшення зворотних втрат. Зворотне відбиття таке саме як і при Ultra PC контакті. Найчастіше використовується на розподільчій мережі кабельного телебачення.
PC	Фізичний контакт. Торцева поверхня з'єднувача опукла. Серцевина волокна розміщується у вищій точці цієї поверхні. Забезпечує низькі втрати. Для одномодових ОВ рівень зворотних втрат від 30 дБ до 39 дБ.
Super PC	Модифікований PC контакт. Зворотні втрати від 40 дБ до 49 дБ.
Ultra PC	Модифікований PC контакт. Зворотні втрати від 50 дБ до 59 дБ. Ultra PC—А контакт - модифікований контакт PC, який має зворотні втрати до 60 дБ.

Таблиця 6.6 – Передавальні характеристики основних типів оптичних рознімних з'єднувачів.

Тип рознімного з'єднувача	Тип контакту	Тип ОВ	Втрати, що вносяться, дБ		Втрати на відбиття, дБ	
			Типове	Макс.	Типове	Макс.
SMA (906)	—	БМ ОВ	0,7	1,5	—	—
Biconic	—	ОМ ОВ	0,6	—	—	—
	—	БМ ОВ	0,7	—	—	—
ST	SPC	ОМ ОВ	0,2	0,5	45	40
	UPC	ОМ ОВ	0,2	0,4	—	55
	PC	БМ ОВ	0,2	0,5	40	30
D4	SPC	ОМ ОВ	—	0,6	—	45
	UPC	ОМ ОВ	—	0,6	—	55
FC	SPC	ОМ ОВ	0,2	0,4	47	40
	UPC	ОМ ОВ	0,2	0,4	—	55
	APC	ОМ ОВ	0,3	0,5	63	58
	PC	БМ ОВ	0,2	0,5	40	30
SC	SPC	ОМ ОВ	0,2	0,4	47	40
	UPC	ОМ ОВ	0,2	0,4	—	55
	APC	ОМ ОВ	0,3	0,5	63	58
	PC	БМ ОВ	0,2	0,5	40	30
LSH (E—2000)	PC	ОМ ОВ	0,2	0,4	50	—
	APC	ОМ ОВ	0,2	0,4	70	—
	PC	БМ ОВ	0,2	0,4	40	—
LC	PC	ОМ ОВ	0,2	—	50	—
	PC	БМ ОВ	0,2	—	20	—

За рівнем втрат, що вносяться рознімні з'єднувачі поділяються на чотири класи [6.18]. Їх класифікація за рівнем втрат, що вносяться подана у таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Класифікація рознімних з'єднувачів за рівнем втрат, що вносяться

Клас	Втрати, що вносяться
Клас А	Не визначено.
Клас В	Не більше 0,12 дБ. Не більше 0,25 дБ для понад 97% зразків.
Клас С	Не більше 0,25 дБ. Не більше 0,50 дБ для понад 97% зразків.
Клас D	Не більше 0,50 дБ.

За рівнем зворотних втрат рознімні з'єднувачі поділяються на чотири класи [6.18]. Класифікація рознімних з'єднувачів за рівнем зворотних втрат подана у таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Класифікація рознімних з'єднувачів за рівнем зворотних втрат.

Клас	Зворотні втрати
Клас 1	Понад 60 дБ для з'єднаних та понад 55 для роз'єднаних.
Клас 2	Понад 45 дБ.
Клас 3	Понад 35 дБ.
Клас 4	Понад 26 дБ.

Практично усі рознімні з'єднувачі, що використовуються в даний час, виконують з'єднання окремих ОВ. Для з'єднання стрічкових конструкцій з окремими ОВ або іншими стрічковими елементами використовують багатоволоконний рознімний з'єднувач.



Рисунок 6.27 — Рознімний з'єднувач типу МТР для 12-ти волоконних стрічкових елементів.

На рис. 6.27 показано рознімний з'єднувач типу МТР для 12-ти волоконних стрічкових елементів, який може використовуватись в стаціонарних або польових умовах.

Важливо мати візуальну змогу відрізнити візуально рознімні з'єднувачі за їх характеристиками, як наприклад, тип ОВ та кабелю, тип контакту.

Стандарти IEC та Cenelec передбачають кольорове кодування рознімних з'єднувачів, але обмежується лише типом контакту: РС контакт – корпус синього кольору, APC контакт – корпус зеленого кольору. Кольорове кодування інших характеристик (такі як, рівень втрат, що вносяться, зворотні втрати) рознімних з'єднувачів в стандартах не визначаються.

На національному та регіональному рівні, кольоровий код зазвичай застосовуються для ідентифікації рознімних з'єднувачів в залежності від: типу та класу за рівнем втрат, тощо.

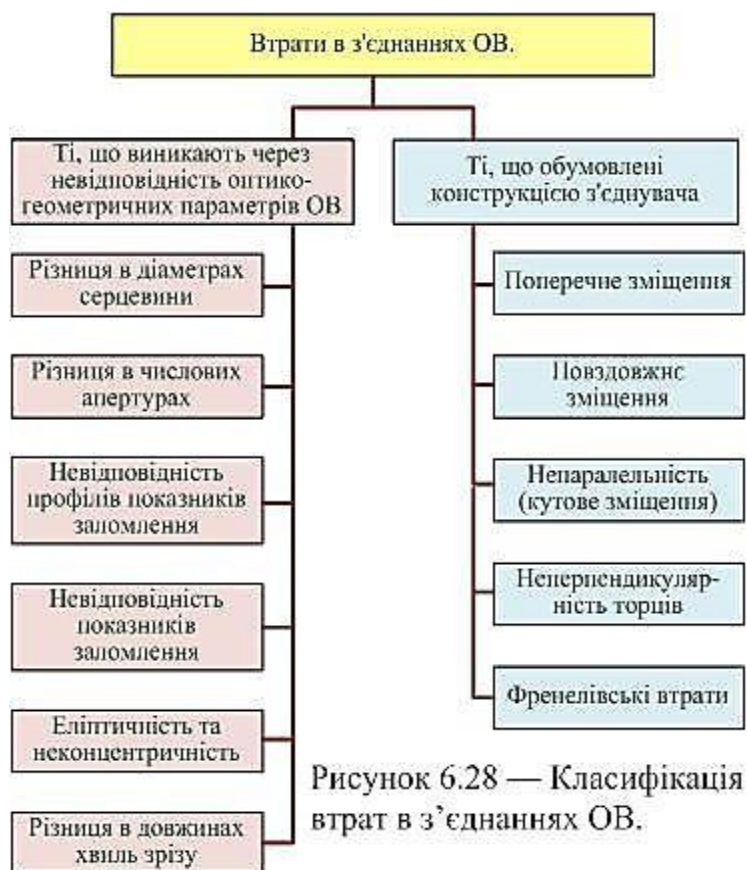
В будь-якому разі відповідна ідентифікаційна система має бути погодженою між споживачем і постачальником. Приклад кольорового кодування рознімних з'єднувачів подано у таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 – Кольорове кодування рознімних з'єднувачів [6.15].

Тип контакту	Рівень втрат, що вносяться	Рівень зворотних втрат	Корпус	Ковпачок
РС	Не визначено	Понад 30 дБ Понад 40 дБ Понад 55 дБ	Синій	Червоний Білий Темно синій
APC 8°	Не визначено	Понад 60 дБ	Зелений	Зелений
APC 9°	Не визначено	Понад 60 дБ	Зелений	Зелений

6.3 Механізми втрат оптичної потужності в з'єднаннях оптичних волокон

З'єднання ОВ призводить до виникнення втрат енергії оптичного сигналу. В порівнянні з традиційними кабелями, втрати в з'єднаннях ОВ можуть бути досить великими, досягати і навіть перевищувати за величиною рівень кілометричного загасання самих ОВ. Причини, що викликають втрати в місцях з'єднань ОВ, можна умовно поділити на дві групи: "внутрішні" та "зовнішні" (рис. 6.34).



До першої групи відносяться втрати, що виникають через невідповідності оптико-геометричних параметрів ОВ, що з'єднуються. До цієї групи відносяться: різниця в діаметрах серцевин, різниця в числових апертурах, невідповідність профілів показників заломлення та самих показників заломлення, еліптичність та неконцентричність ОВ, що з'єднуються.

Друга група факторів зумовлена конструкцією з'єднання, що

використовується. Це втрати через: поперечне та повздовжнє зміщення осей, непаралельність (кутове зміщення) осей ОВ, неперпендикулярність торців ОВ їхнім осям, відбиття при переході випромінювання із одного середовища в інше (френелівські втрати) [6.19].

Френелівські втрати виникають на границі розділу двох середовищ. При з'єднанні волокон за допомогою неузгоджених механічних з'єднувачів або оптичних рознімних з'єднувачів, коли існує дві (скло/повітря/скло) границі розділу середовищ, френелівські втрати можна визначити за формулою [5.14]:

$$A = -10 \lg \left[\frac{4n_1 n_0}{(n_1 + n_2)^2} \right]^2, \quad (6.1)$$

де: n_1, n_2 — показники заломлення серцевин ОВ; n_0 — показник заломлення оточуючого середовища (повітря).

Якщо $n_1=1,46$ – показник заломлення кварцового скла, а $n_0=1$ – показник заломлення повітря, то $A \approx 0,309$ дБ, що є теоретичним мінімумом втрат на таких з'єднаннях. Для зменшення цих втрат в механічних з'єднаннях ОВ, як правило використовують імерсійні (узгоджувальні) речовини, які мають показник заломлення, що збігається, або майже збігається з показником заломлення серцевини ОВ, і оптична хвиля переходить з одного ОВ до іншого з невеликим відбиттям, тобто з малими втратами (як правило не більше 0,2 дБ).

За наявності поперечного зміщення потужність оптичної хвилі, що пройшла, залежить від профілю показника заломлення, величини поперечного зсуву та діаметра поля моди. Для одномодових ОВ втрати в з'єднаннях за наявності поперечного зміщення визначаються за формулою [6.7]:

$$A = -10 \lg \left(\frac{2W_1 W_2}{W_1^2 + W_2^2} \right)^2 + \left(\frac{2d^2}{W_1^2 + W_2^2} \right), \quad (6.2)$$

де: d – величина поперечного зсуву (мкм); W_1, W_2 – діаметри поля моди ОВ (мкм).

Діаметр поля моди (W) – величина, що характеризує область в поперечному перетині ОВ, в якій розподілена більша частина оптичної потужності робочої хвилі ОВ. Для гаусового розподілу електромагнітного поля моди, W може бути розраховано за наближено формулою:

$$W \approx a(0,65 + 1,619V^{-1,5} + 2,879V^{-6}); \quad (6.3)$$

де a – конструктивний діаметр серцевини ОВ (мкм); нормована частота $V \approx \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_0^2}$; λ – робоча довжина хвилі (мкм).

Кутові зміщення ОВ досить часто виникають при з'єднанні ОВ за допомогою механічних та рознімних з'єднувачів. Потужність оптичної хвилі, що пройшла через таке з'єднання, залежить для багатомодових ОВ від показника заломлення серцевини та оболонки та кутового зміщення, а для одномодових, крім того, від діаметра поля моди та довжини хвилі. Таким чином втрати на з'єднаннях з кутових зміщенням ОВ можна визначити за формулою [6.20]:

$$A = -10 \lg \left(\frac{2W_1 W_2}{W_1^2 + W_2^2} \right)^2 \exp \left(\frac{2(\pi n_0 W_1 W_2 \theta)^2}{(W_1^2 + W_2^2) \lambda^2} \right), \quad (6.4)$$

де: θ – кут між осями ОВ (рад).

При використанні механічних з'єднувачів досить часто виникають втрати енергії оптичної хвилі внаслідок наявності проміжку між торцями ОВ. Такі втрати можна знайти за формулою [5.7]:

$$A = -10 \lg \left(\frac{4 \left(Z^2 + \frac{W_1^2}{W_2^2} \right)}{\left[4Z^2 + \frac{W_1^2 + W_2^2}{W_2^2} \right]^2 + \frac{4Z^2 W_2^2}{W_1^2}} \right), \quad (6.5)$$

де: $Z = \frac{\varepsilon}{n_0 W_1 W_2 k}$; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$; ε – відстань між торцями ОВ (мкм).

При з'єднаннях ОВ за допомогою зварювання, механічних та рознімних з'єднувачів можуть виникати втрати потужності оптичної хвилі внаслідок різниці діаметрів поля моди з'єднуваних ОВ. Такі втрати можна знайти за формулою [6.7]:

$$A = -10 \lg \left(\frac{2W_1 \times W_2}{W_1^2 + W_2^2} \right)^2, \text{ дБ.} \quad (6.6)$$

Результати розрахунків втрат оптичної потужності для ОМ ОВ (на довжині хвилі 1310 нм) через наявність проміжку, поперечне та кутове зміщення приведено на рис. 6.29.

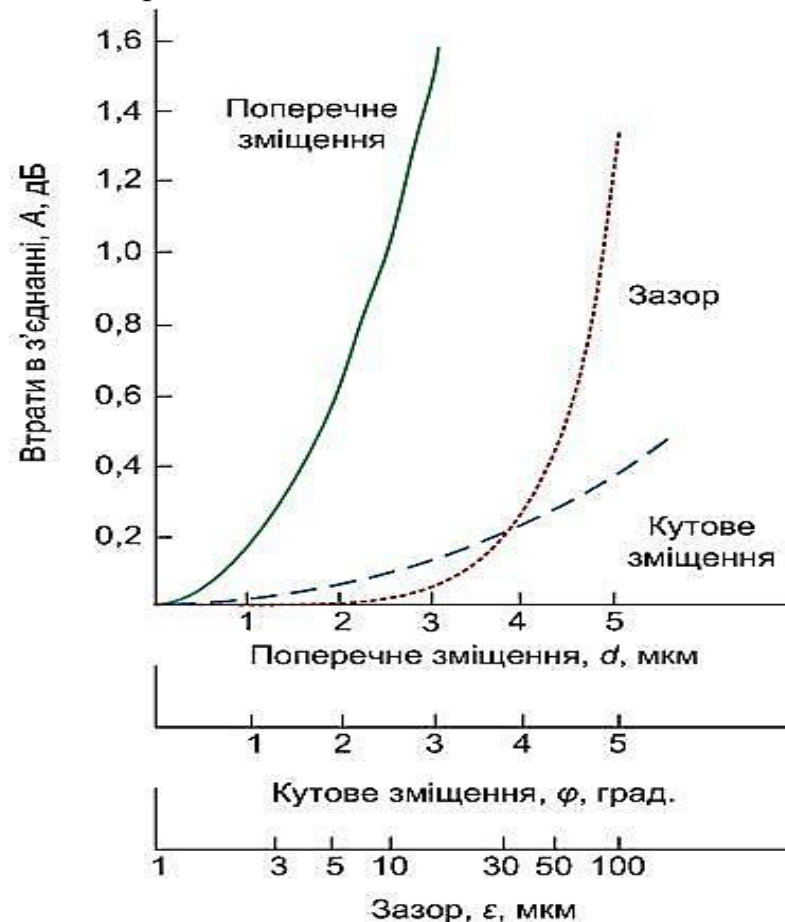


Рисунок 6.29 — Втрати в з'єднаннях [6.7].

6.4 Практичні рекомендації з вибору методів з'єднань оптичних волокон

Питання монтажу лінійного тракту волоконно-оптичної системи передавання (ВОСП) охоплює різні галузі науки та техніки. Існуючі методи з'єднань ВОК передбачують використання, головним чином, нерознімних з'єднань. Для з'єднання окремих будівельних довжин ВОК найбільш розповсюдженим методом є зварювання ОВ в тепловому полі електричного розряду. Ця технологія добре відпрацьована, створено прецензійне

технологічне обладнання, що забезпечує низький рівень втрат в з'єднаннях як багатомодових, так і одномодових ОВ (до 0,1 дБ). Останнім часом суттєву конкуренцію зварюванню складають нерознімні механічні з'єднувачі.

Вибір того чи іншого метода визначається типом ОВ і його конструктивними особливостями, методами прокладання та економічними факторами.

До конструктивних відносяться: багаточисельність чи індивідуальність ОВ, що з'єднуються, постійність з'єднання, вношувані та зворотні втрати в з'єднаннях, щільність розміщення ОВ, складність методу, універсальність монтажу.

При виборі методу з'єднання слід враховувати стабільність загасання в місці з'єднання, механічну міцність з'єднання та стабільність роботи в умовах оточуючого середовища.

Економічні фактори: вартість матеріалів, що використовуються при з'єднанні, необхідного обладнання та інструментів, рівень професійної підготовки персоналу, працевитрати на монтаж.

При будівництві міжміських ВОЛЗ великої довжини, із застосуванням багатоволоконних (понад 12 ОВ) одномодових ВОК, при виборі способу з'єднання ОВ слід виходити з: критеріїв надійності лінії, потреби досягти великих довжин регенераційних ділянок, наявності великої кількості з'єднань ОВ.

Водночас будівництво ВОЛЗ (наприклад на мережі доступу) з використанням суто не рознімних з'єднань зменшує кількість точок на котрих можна проводити виміри з пошуку і локалізації місця обриву ОВ.

Щодо кожного з цих критеріїв.

Надійність. Як критерії надійності можуть бути розглянуті строк служби, стабільність та механічні характеристики з'єднань. Майже усі виробники обладнання для отримання з'єднань ОВ гарантують строк служби 20...30 років, причому строк служби, головним чином, визначається стабільністю з'єднань. Механічні характеристики зварних з'єднань визначаються, головним чином, механічними властивостями ОВ (максимальне зусилля на розрив від 20 Н до 50 Н), а механічних – конструкцією з'єднувача (від 20 Н до 35 Н).

Рівень втрат. При сучасному рівні зварювальної техніки можна досягти рівня втрат на з'єднаннях одномодових ОВ порядку 0,1 дБ. Більшість механічних з'єднувачів має цей показник на рівні 0,2 дБ. Винятком може бути лише Rotary Mechanical Splice, рівень втрат в якому може бути не більше 0,1 дБ.

Економічність. Велика кількість з'єднань може призвести до рентабельності купівлі досить коштовного зварювального апарату, оскільки

собівартість одного з'єднання в цьому випадку може бути меншою від собівартості одного з'єднання за допомогою механічного з'єднувача.

Отже, при будівництві міжміських ВОЛЗ великої довжини найбільш доцільним є використання для з'єднань ОВ зварювальних апаратів.

При будівництві міжміських зонних ВОЛЗ невеликої довжини (до 200 км) із застосуванням як одномодових так і багатомодових ВОК з числом ОВ більшим за 8, при виборі способу з'єднання ОВ слід головним чином опиратись на собівартість з'єднань та рівень втрат оптичної потужності в них. При аналізі економічних показників, слід враховувати: чи дана ВОЛЗ є одноразовим будівництвом, чи в перспективі буде побудована досить велика мережа ВОЛЗ, чи вже є зварювальний апарат. У випадку, коли ВОЛЗ, що будується є єдиною і в перспективі будівництво нових ВОЛЗ не передбачається, а також, коли немає жорстких обмежень за оптичними втратами на з'єднаннях, доцільним є використання нерознімних механічних з'єднувачів. Але коли передбачається створення мережі ВОЛЗ, або коли вже є зварювальний апарат, більш рентабельним є застосування зварних з'єднань ОВ.

При будівництві ВОЛЗ місцевих мереж для вибору способу з'єднання ОВ слід також опиратись на вищенаведені міркування.

В найближчі часи очікується початок впровадження ВОК на абонентських розподільчих лініях. В цьому випадку будуть застосовані ВОК з великим числом ОВ. У світовій практиці для з'єднання ОВ розподільчих ВОК, як правило, використовують механічні з'єднувачі, оскільки в цих лініях немає обмеження за рівнем оптичних втрат на з'єднаннях. Але великі обсяги з'єднань роблять економічно більш доцільним застосування зварювальних апаратів.

При будівництві локальних інформаційно-обчислювальних мереж, які характеризуються використанням маловолоконних (4...8 ОВ) ВОК, та невеликими відстанями між терміналами, найбільш ефективним виявляється застосування механічних з'єднувачів.

Для рознімного з'єднання ОВ між собою та підключення їх до кінцевого обладнання в даний час розроблена велика кількість різних типів оптичних рознімних з'єднувачів. Причому, в місці стику як багатомодових, так і одномодових ОВ отримано оптичні втрати на рівні зварних з'єднань (0,1...0,3 дБ).

Вибір того чи іншого типу рознімних з'єднувачів повинен бути визначений конкретним проектом на базі вивчення пропозицій фірм виробників, конкретного типу апаратури систем передавання, вимірювальної техніки, тощо.

6.5 Алгоритм перевірки чистоти торців волокна

Нажаль, під час проведення тестових процедур, при роботі з оптичними розетками та конекторами, часто не приділяють достатньої уваги чистоті рознімних з'єднань.

Наявність бруду на торцях рознімних з'єднань є джерелом збільшення зворотного відбиття. При цьому бруд та пил (типовими частинками пилу $2 \div 15$ мкм в діаметрі) може як внести значні зміни в результати вимірювань в оптичній мережі так і пошкодити торці волокон на рознімних з'єднаннях.

Алгоритм перевірки та визначення, для місця з'єднання, категорій «ЧИСТЕ» або «НЕ ЧИСТЕ», наступний (рисунок 6.30):

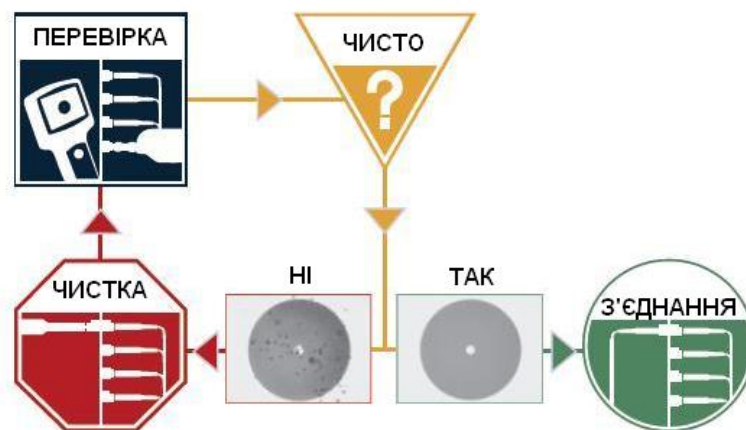


Рисунок 6.30 Алгоритм визначення чистоти торця волокна.

Чисте місце з'єднання є запорукою нормального проходження сигналу по волокну (рисунок 6.31).

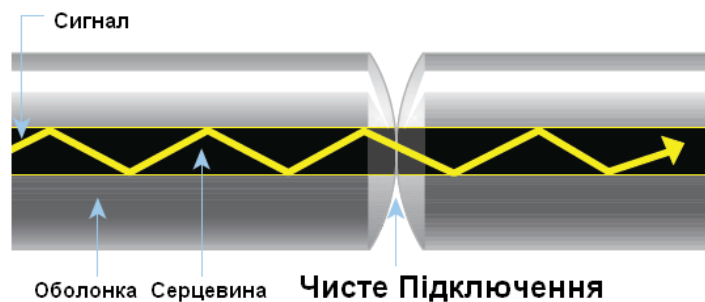


Рисунок 6.31 Проходження сигналу в місці з'єднання за умови чистих торців волокна.

При визначенні категорій «ЧИСТЕ» або «ЗАБРУДНЕНЕ» площу торця волокна розділяють на зони (рисунок 6.32):

- A** – Основний зона
- B** – Зона оболонки
- C** – Зона клею / епоксидної зона
- D** – Контактна зона / Зовнішня зона

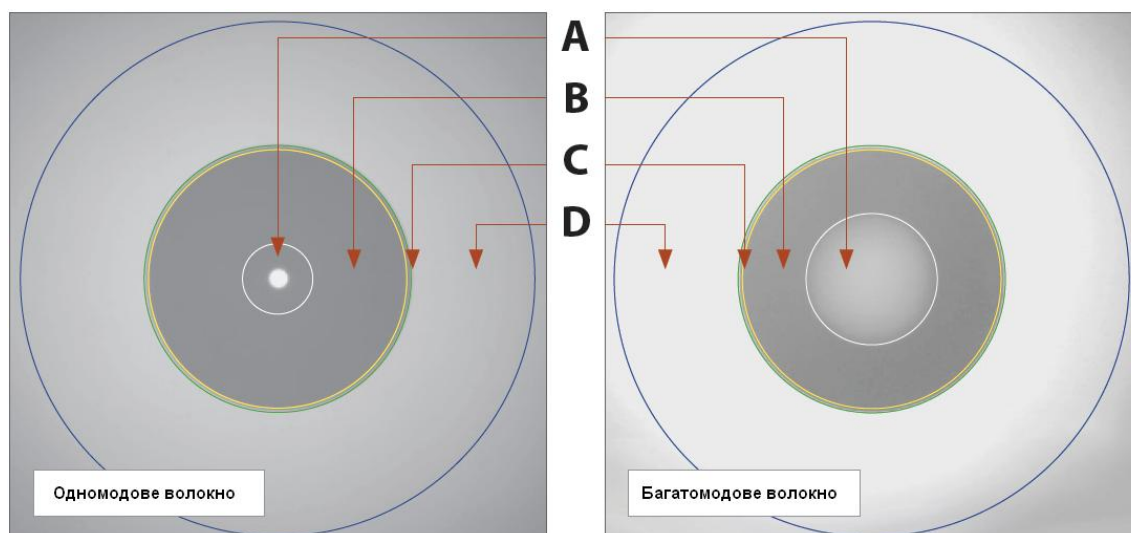


Рисунок 6.32 Зони торця волокна

Рознімне з'єднання вважається чистим якщо на визначених зонах наявні дефекти чи подряпини котрі перевищують межі наведені в таблицях 6.10 та 6.11:

Таблиця 6.10 – Для одномодових волокон

Зона	Діаметр зони, мкм	Дефекти	Подряпини
A	0 ÷ 25	жодних	жодних
B	25 ÷ 120	не лімітовані < 2 мкм 5 від 2 мкм ÷ 5 мкм жодних > 5 мкм	не лімітовані < 3 мкм жодних > 3 мкм
C	120 ÷ 130	не лімітовані	не лімітовані
D	130 ÷ 250	жодних ≥ 10 мкм	не лімітовані

Таблиця 6.11 – Для багатомодових волокон

Зона	Діаметр зони, мкм	Дефекти	Подряпини
A	0 ÷ 65	4 ≤ 5 мкм жодних > 5 мкм	не лімітовані ≤ 5 мкм 0 > 5 мкм
B	65 ÷ 120	не лімітовані < 2 мкм 5 від 2 мкм ÷ 5 мкм жодних > 5 мкм	не лімітовані < 5 мкм 0 > 5 мкм
C	120 ÷ 130	не лімітовані	не лімітовані
D	130 ÷ 250	жодних ≥ 10 мкм	не лімітовані

У випадку перевищення наведених параметрів торець волокна вважається брудним і потрібно перейти до його чищення.

Процедура чищення відбувається наступним чином (як показано на рисунку 6.33):

Серветку змочують в рідині для чищення.

Змоченою серветкою витирають або спеціальне обладнання котре призначене для чистки розеток або торці конекторів.



Рисунок 11.33 Використання розхідних матеріалів при процедурі чищення волокон.

Проблемою при візуальному огляді торців волокон, конекторів, є те, що навіть один і той же досліджуваний зразок, при огляді під час повороту або обертанні його під іншим кутом може дати інші результати стосовно наявності подряпин, тріщин, забруднення.

Перелік посилань до розділу 6

- 6.1 В.Б. Каток, А.С. Ковтун, И.Э. Руденко. Оптоволокно: неразъемные соединения / – Сети и телекоммуникации, № 6–7, 2005. – с. 64–71.
- 6.2 Унгер Х.Г. Планарные и волоконные оптические волноводы. — М.: Мир, 1980. – 656 с.
- 6.3 Mahlke G., Gossing P. Fiber optic cables: fundamentals, cable engineering, systems planning. – Berlin; Munchen: Siemens-Aktienges., 1993. – 244 p.
- 6.4 В.Б. Каток, І.Е. Руденко. З'єднання оптичних волокон у ВОЛЗ / — Зв'язок, № 1, 2005. – с. 51–53.
- 6.5 Optical Fibres, Cables and Systems. ITU-T Handbook. 2010. – 299 p.
- 6.6 User`s Manual. Fusion Splice FSU 925 RTC. Ericsson. 74ST009R1A. – 39 p.
- 6.7 Fukutomi H. Dr. Perspective of Optical Fiber Industry in the 21st Century. Japan 21st, June 1996. – 144 p.
- 6.8 ITU-T. Recommendation L.12 (03/2008). Optical fibre splice.
- 6.9 Комплект деталей для защиты места свярки волокон. Технические условия ТУ 4–87.

6.10 The Two Fiber Mechanical Splice of Low Loss for Optical Fiber Cable / M.Miyazaki, M.Mizutani, H.Shimoyama, M.Kurokawa, Y.Okawa // IEEE Trans. Compon., Hybrids, and Manuf. Technol. – 1990 – 13, No. 4 – p.807–810.

6.11 3M 1992/93 Communications Produkts for Copper and Fiber Optic Networks Catalog // Austin, TX, 1992.

6.12 De Veau G.F., Mettler S.C. AT&T Enhanced Rotary Splice vs. Fusion and Other Mechanical Splices // AT&T Bell Laboratories Norcross, Georgia.

6.13 AMP CORELINK Splice Workstation 503605. Instruction Sheet 408–4131.

6.14 Refi J.J. abc of the Telephone: Fiber Optic Cable – A LightGuide. abc TeleTraining, Inc., Geneva, Ill, 1991, – 208 p.

6.15 ITU-T. Recommendation L.36 (01/2008). Single-mode fibre optic connectors.

6.16 В.Б. Каток, А.С. Ковтун, И.Э. Руденко. Разъемы для оптики / – Сети и телекоммуникации, № 8–9, 2005. – с. 64–71

6.17 Nilsson-Gistvik S.. Optical Fiber Theory for Communications Networks. Ericsson Cbles A.B. 1994. – 219 p.

6.18 IEC 61755-1 (2005). Fibre optic connector optical interfaces – Part 1: Optical interfaces for single mode non-dispersion shifted fibres – General and guidance.

6.19 В.Б. Каток, І.Е. Руденко. Аналіз стиків одномодових волоконних світловодів / – Зв'язок, № 1, 2009. – с. 60–62.

6.20 Marcuse D. Loss Analysis of Single-Mode Fiber Splices. Bell System Technical Journal. May–June 1977, p. 703–718.

6.21 Каток В.Б., Ковтун О.С. Розніми для одномодових оптичних волокон / Зв'язок. – 2007. - №6. – С.22 – 24

7 МУФТИ ДЛЯ МОНТАЖУ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ ЗВ'ЯЗКУ

7.1 Загальні положення

Оптична муфта – пасивний вузловий елемент волоконно-оптичної лінії зв'язку, що призначений для герметизації місць вводу волоконно-оптичних кабелів та захисту систем організації волокон від механічних та кліматичних впливів

Корпус муфти – герметичний контейнер або короб без системи організації волокон, призначений для герметизації, механічного закріплення оболонок і силових елементів кабелів та захисту встановлених пасивних оптичних компонентів

Система організації волокон (організатор) – система призначена для з'єднання оптичних волокон та їх спрямування від точки вводу кабелю до точки виводу. Система організації об'єднує все необхідне для викладки, розподілу і зберігання оптичних волокон та інших пасивних оптичних елементів всередині муфти, де вони не захищені кабельною оболонкою.

У волоконно-оптичних мережах муфти використовуються для захисту стиків будівельних довжин з'єднувальних, розгалужувальних та розподільних кабелів. Вони повинні забезпечувати механічну та, за наявності металевих елементів, електричну нерозривність ВОК незалежно від умов прокладання кабелів (безпосередньо в ґрунт, в каналах кабельної каналізації, на повітряних кабельних лініях).

Муфти повинні забезпечувати з'єднання та (або) розгалужування ВОК без погіршення їх характеристик у місці монтажу, забезпечуючи захист з'єднання та (або) розгалужування від впливу факторів довкілля.

Головною вимогою до конструкції муфти є захист ОВ в місцях з'єднань кабелів від впливу механічних навантажень (розтягування, згин, поперечне стискування, тощо). Цей захист здійснюється шляхом вільного розташування місць з'єднань і утворення запасу ОВ в муфті. Механічні навантаження, що діють на ВОК, повинні замикатися на корпусі муфти без передачі зусиль на ОВ [7.1].

Організатори волокон повинні бути складовою частиною муфти. Організатори повинні складатися з однієї або більше касет для викладки надлишкової довжини та утримання з'єднань ОВ потрібним чином. Кожна касета повинна бути обладнана захисною прозорою кришкою.

Організатори складаються з однієї чи декількох касет (лотків) і призначаються для:

- викладки та фіксації місць з'єднань ОВ введених в муфту ВОК у визначеному порядку при різних типах з'єднань;
- забезпечення мінімального росту коефіцієнту загасання в ОВ після їх фіксації;
- забезпечення можливості повторного розміщення ОВ при повторному їх з'єднанні;
- зберігання технологічного запас ОВ для можливого ремонту муфти;
- механічного захисту ОВ.

Зазвичай, усі організатори мають в своєму складі одну або кілька лотків (касет) чи знімних блоків, в яких передбачені пристрої для розміщення місць з'єднань та зберігання технологічного запасу ОВ. Основні відміни між організаторами стосуються розміщення касет або знімних блоків, а саме:

- розміщення касети на центральному силовому елементі або розтяжках каркасу муфти;
- розміщення пакету касет в корпусі муфти за допомогою фіксаторів або болтового з'єднання;
- розміщення касет на кронштейнах каркасу муфти (в такому випадку доступ до будь якої касети здійснюється шляхом їх перегортання).

Крім того, організатори можуть відрізнятись формою касети або фіксаторами, які розраховані на розміщення різних типів з'єднань ОВ.

Організатор ОВ повинен забезпечувати такі функціональні характеристики:

- викладку, зберігання та захист з'єднань ОВ або інших пасивних елементів належним чином;
- радіус вигину ОВ не менше ніж 30 мм [7.8], що дозволяє забезпечити остаточну деформацію ОВ, яка не перевищує 0,2%. Це дозволяє уникнути зростання коефіцієнту загасання ОВ через механічну втому. Для передачі сигналу по ОВ на довжинах хвиль, що перевищують 1300 нм, рекомендується щоб допустимий радіус вигину ОВ був не менше 37,5 мм для ОВ, що відповідають вимогам рекомендаціям ITU-T G.652 та G.656. За домовленості між замовником та постачальником для спеціальних умов використання мінімальний радіус вигину ОВ може становити 20 мм⁵;
- ввід та фіксацію ОВ за допомогою перехідних трубок для транспортування оптичних волокон від зрізу модулів до касет;

⁵ Для забезпечення механічної надійності та мінімізації втрат у мережі сумарна довжина ОВ, що залишається всередині організатора, не повинна перевищувати 2 м для кожного ОВ.

- простоту ідентифікації та доступу до будь-якого з'єднання ОВ для реорганізації;
- розділення окремих ОВ на потрібному рівні, що дозволяє обмежити ризик переривання трафіку на тих ОВ, які належать до однієї групи каналів;
- зберігання надлишкової довжини ОВ, необхідної для з'єднання та можливої реорганізації з'єднання в майбутньому;
- можливість викладки зростків та запасу ОВ без необхідності вимірювання довжини оптичних волокон до операції зрощування.

В даний час існує безліч різного типу муфт для ВОК. Щоб мати можливість оптимального вибору оптичної муфти для конкретних вживань, необхідно знати характеристики і параметри ВОК, що з'єднуються.

Муфти відносяться до пасивних елементів волоконно-оптичних мереж [7.2] і класифікуються за умовами застосування. Класифікація пасивних елементів за умовами застосування приведена в таблиця 7.1. Оціночні вимоги з впливу чинників довкілля приведені у таблиці 7.2.

Таблиця 7.1 – Класифікація пасивних елементів за умовами застосування

Внутрішньооб'єктові		Зовнішнього застосування		
IC	IN	OA	OG	OS
Indoor temperature controlled	Indoor non-temperature controlled	Outdoor above ground	Outdoor at ground level	Outdoor under ground (sub-terrain)
Елементи, що застосовуються в умовах з обов'язковим температурним контролем	Елементи, що застосовуються в умовах без обов'язкового температурного контролю	Елементи, для застосування над поверхнею землі	Елементи, для застосування на рівні землі	Елементи, для підземного застосування
Встановлення в діапазоні температур від +5°C до +45°C		Встановлення в діапазоні температур від -15°C до +45°C		

Оптична кабельна муфта призначена:

- для забезпечення безперервності ОВ в ВОК при монтажі ВОК зв'язку;
- для забезпечення (при необхідності) електричної безперервності металевих оболонок ВОК, у тому числі, забезпечення постійної механічної стійкості силових елементів ВОК;
- для захисту системи організації волокон (організатора) ОВ, котра складається з одної чи більше касет (лотків) в яких розміщуються з'єднання і технологічний запас ОВ, від впливу довкілля при експлуатації на всіх типах мереж зв'язку;
- для забезпечення заземлення металевих елементів ВОК (при необхідності).

Таблиця 7.2 – Типові параметри для визначення класів пасивних елементів в залежності від впливу чинників довкілля

Умови	Внутрішньоб'єктові		Зовнішнього застосування		
	IC	IN	OA	OG	OS
	Елементи, що застосовуються в умовах з обов'язковим температурним контролем	Елементи, що застосовуються в умовах без обов'язкового температурного контролю	Елементи, для застосування над поверхнею землі	Елементи, для застосування на рівні землі	Елементи, для підземного застосування
Мінімальна температура °C	5	15	Мінус 40	Мінус 40	Мінус 30
Максимальна температура, °C	40	60	65	65	60
Сонячна радіація	Відсутня		Так		Відсутня
Відносна вологість, % макс.	93 при + 30°C		100		
Опади	Відсутні		Дощ, сніг		Не визначено
Затоплення	Відсутнє		Відсутнє	Відсутнє ¹⁾	Так
Вібрація, Гц	Від 10 до 55 1 м/с ² (~ 0,1 g) 5 м/с ² (~ 0,5 g)		Від 5 до 500 10 м/с ² (~ 1 g)		
Хімічно агресивне середовище	Не суттєво ²⁾		Атмосферне	Атмосферне + ґрунтове	Ґрунтове / водяне
Біологічна агресія	Не суттєво		Атмосферна	Атмосферна + ґрунтова	Ґрунтова / водяна
¹⁾ Якщо існує можливість випадкового наводнення, це має бути оговорено додатковими вимогами і також відповідати більш високому ІР коду згідно [6.3].					
²⁾ В районах з підвищеною агресивністю атмосфери (морські та приберегові області, індустріальні райони, міське засмічення), підвищений захист від корозії має бути оговорений в додаткових вимогах.					

Оптичні муфти мають бути придатними для застосування в тих самих умовах, що і ВОК для монтажу яких вони використовуються. Ці умови жорсткі і залежать від варіанту розміщення муфти, наприклад: на опорі, в ґрунті, в оглядовому пристрої кабельної каналізації або тунелі, в будинку, шафах (для мережі доступу), тощо. Для забезпечення необхідних параметрів муфти протягом всього терміну експлуатації конструкція муфти має ретельно вибиратись. Основні чинники, які необхідно враховувати при виборі муфти для ВОК приведені у таблиці 7.3. Відносна важливість цих чинників залежить від умов застосування муфти. Будь-який з цих чинників можуть привести до

додаткових навантажень на ОВ і, як наслідок, викликати зростання втрат та руйнування ОВ. В подальшому, ці чинники, можуть призвести до пошкодження мфути та втрати її герметичності [7.4].

Таблиця 7.3 — Розгляд чинників для вибору муфти.

Умови прокладання	Підвішування	Шафа	В ґрунт	Оглядовий пристрій, тунель
Екстремальні умови				
Вигин	++	++	++	++
Корозія	+	+	+	+
Просковзування (осьове витягування)	++	НР	++	++
Роздавлювання	НР	НР	++	++
Удар	+	+	++	++
Удар блискавки	++	++	+	+
Ультрафіолетова (сонячна) радіація	++	+	НР	НР
Температура	++	++	++	++
Кручення	++	++	++	++
Вібрація	++	++	++	++
Занурення у воду	НР	НР	+	+
Герметичність	++	++	++	++
++ Фактор слід враховувати. + Фактор враховується за потреби. НР Не розглядається				

Для виконання цих умов конструкція муфти повинна відповідати наступним характеристикам:

- забезпечувати можливість розміщення технологічного запасу ОВ з допустимим радіусом вигину і фіксацією місць з'єднання ОВ;
- запобігати можливості витягування ВОК з муфти під дією механічних навантажень;
- забезпечувати легкий доступ до місць з'єднань ОВ при проведенні ремонтно-профілактичних робіт;
- забезпечувати можливість повторного використання після демонтажу;
- забезпечувати універсальність конструкції для монтажу різних типів ВОК;
- бути герметичною;
- мати оптимальні габарити і масу;
- бути екологічно безпечною.

Оскільки основною вимогою до конструкцій оптичних кабельних муфт є забезпечення надійності з'єднань ОВ кабелів, перш за все, передбачається захист ОВ в місцях їх з'єднань від впливу механічних навантажень

(розтягування, вигинів, поперечних стискувань тощо Організації захисту ОВ в місцях їх з'єднань від впливу механічних навантажень здійснюється шляхом вільного розташування в муфті місць з'єднань та запасу ОВ. Крім того, механічні навантаження, що діють на ВОК, повинні замикатися на корпусі муфти без передачі зусиль на ОВ.

При з'єднанні ОВ (всіх типів кабелів) повинен передбачатися їх технологічний запас від 80 до 100 см [7.5], необхідний для здійснення можливих подальших з'єднань при ремонті кабельної лінії. Цей запас повинен розташовуватися безпосередньо в муфті, з дотриманням радіусу згину, допустимого для конкретного типу волокон. Крім того ОВ, розташовані усередині муфти, мають бути зафіксовані щоб уникнути їх переміщення при остаточному розміщенні змонтованої муфти. Такі переміщення можуть привести до появи макро- та мікрозгинів ОВ і, як результат, спонтанного незворотного зростання існуючих в ОВ мікротріщин, що призводить до збільшення коефіцієнта загасання і, зрештою, руйнування ОВ. Таке ж явище відбувається і при витягуванні ВОК з муфти під дією розтягуючих навантажень. Отже, конструкція муфти повинна забезпечувати можливість викладення технологічного запасу ОВ з його жорсткою фіксацією, а також неможливість витягування ВОК з муфти під дією розтягуючих навантажень.

Для проведення ремонтно-профілактичних робіт конструкція муфти повинна забезпечувати доступ до місць з'єднань ОВ, а також повторне використання їх після розкриття. Це дозволяє зменшити витрати часу на проведення ремонтно-профілактичних робіт.

7.2 Класифікація оптичних кабельних муфт

Відповідно до призначення оптичні кабельні муфти розподіляються на лінійні, такі, що використовуються для захисту місць з'єднань окремих будівельних довжин лінійного ВОК, і станційні, такі, що використовуються в місцях з'єднань лінійного і станційного ВОК. За конструктивною ознакою оптичні кабельні муфти можуть бути "прохідного типу" (вхід і вихід ВОК розташовані з різних сторін муфти) і "тупикового типу" (вхід і вихід ВОК розташовані з одного боку муфти). Залежно від кількості з'єднаних ВОК муфти можуть бути з'єднувальні або розгалужувальні. Класифікація муфт проілюстрована рисунком 7.1 [7.6].

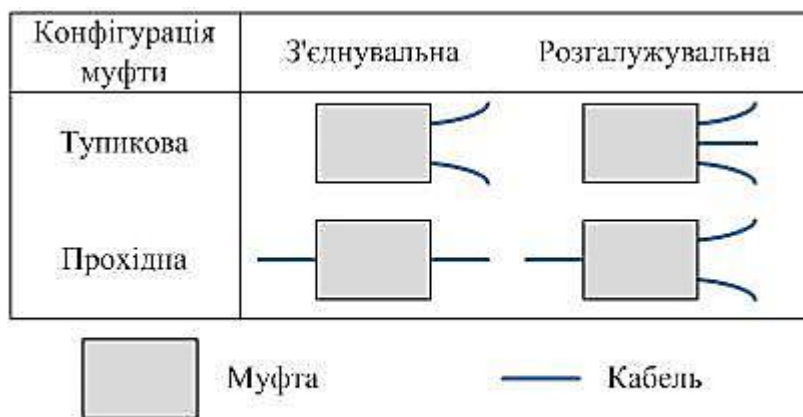


Рисунок 7.1 – Класифікація муфт.

Муфти, що застосовуються на мережах зв'язку, можна розділити на наступні типи:

- тип 1 – муфти для монтажу кабелів, що прокладаються через внутрішні прісні водойми глибиною до 50 м, в тому числі муфти берегові стикові; муфти для монтажу кабелів морського прокладання;
- тип 2 – муфти для монтажу кабелів, що прокладаються в скельних та вічномерзлотних ґрунтах;
- тип 3 – муфти для монтажу кабелів, що підвішуються на опорах повітряних ліній зв'язку, опорах ліній електропередачі, контактної мережі та автоблокування залізниць; муфти для монтажу кабелів, що прокладаються на відкритому повітрі, і в тому числі, по стінах будівель;
- тип 4 – муфти для монтажу кабелів, що прокладаються в ґрунтах всіх категорій, крім скельних та вічномерзлотних, через болота та внутрішні прісні водойми глибиною до 5 м;
- тип 5 – муфти для монтажу кабелів, що прокладаються в кабельній каналізації, колекторах, тунелях та по мостах;
- тип 6 – муфти для монтажу кабелів всередині будівель та приміщень; муфти для монтажу (тимчасового) кабелів в ході аварійно-відновлювальних робіт.

Кожний тип оптичних кабельних муфт відрізняється вимогами до конструктивних характеристик, електричних характеристик та стійкості до механічних та кліматичних впливів.

7.3 Основні конструктивні елементи муфт

Основними конструктивними елементами оптичних кабельних муфт, що визначають їх надійність і можливість використання в конкретних умовах, є:

- корпус муфти;
- пристрої герметизації;
- кабельні вводи/виводи;

- пристрої для фіксації ВОК в муфті;
- організатор для розміщення і фіксації місць з'єднань і технологічного запасу ОВ.

Узагальнену конструкцію муфти для монтажу ВОК подано на рисунок 7.2.

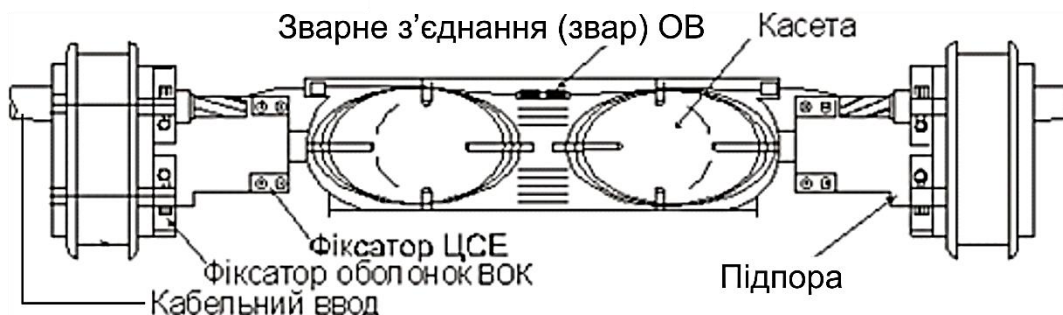


Рисунок 7.2 – Узагальнена конструкція муфти для монтажу ВОК (корпус умовно не показано) [7.6].

Корпус муфти є одним з основних елементів конструкції. Серед різних форм корпусу сучасних муфт виділяються три основні групи:

- трубчасті;
- плоскі прямокутні;
- плоскі круглі.

Кожна з груп має певні властивості, що визначають особливості їх застосування.

Трубчасті муфти – прості в монтажі, мають можливість повторного використання після розкриття, малу матеріаломісткість і відносно невисоку вартість. Проте в деяких конструкціях цього типу муфт відсутня можливість, після виконаного монтажу, контролю орієнтації організатора при остаточному розміщенні муфти. Муфти цієї конструкції мають великі габаритні розміри, зменшення яких приводить до небезпеки викладення ОВ з радіусом менше допустимого.

Плоска прямокутна конструкція муфт дозволяє при габаритах близьких до оптимальних, виконання викладення технологічного запасу ОВ з допустимим радіусом згину при жорсткій фіксації ОМ. Крім того, існує можливість повторного використання муфти після її демонтажу, а також простота монтажу і демонтажу.

Плоска кругла конструкція муфти дозволяє розташувати запас ВОК на корпусі муфти, зберігаючи при цьому позитивні характеристики, властиві трубчастим і плоским прямокутним муфтам. Проте ця конструкція муфти не передбачає можливість монтажу електричних ланцюгів для ВОК, що містять такі. У ній значно ускладнюється забезпечення безперервності металевих бронепокривів та силових елементів. Такі конструкції неможливо

використовувати для з'єднання ВОК з різними діаметрами. Крім того, існує певна складність монтажу і демонтажу.

Деякі конструкції муфт (наприклад, для розміщення в складних ґрунтах) допускають наявність зовнішнього і внутрішнього корпусів. Зовнішній корпус муфти, як правило, виготовлений з матеріалів, які володіють високою механічною міцністю (з чавуну або спеціальних сортів сталі, сталевий корпус з полімерним покриттям, із спеціальних пластмас). Внутрішній корпус, зазвичай, виготовляється з пластмас.

Найбільшого поширення набули муфти трубчастої та плоскої прямокутної конструкції.

Після монтажу кабелю елементи корпусу муфти збирають, а стики герметизують. Серед найбільш поширених методів герметизації стиків виділяються методи гарячої та холодної герметизації. Методи холодної герметизації мають перевагу, оскільки вони (за винятком герметизації за допомогою заповнювача) дозволяють повторно використовувати систему герметизації після демонтажу муфти і для своєї реалізації не вимагають використання теплових джерел (газових пальників, технічних фенів).

Герметизація стиків корпусу методом холодної герметизації здійснюється за допомогою прокладок, що встановлюються між деталями корпусу, що сполучаються, або за допомогою герметизуючих компаундів.

До герметиків, що набули широкого поширення, відносяться:

- компаунд на основі епоксидних смол з наповнювачем у вигляді подрібненої гуми (затвердіння якої забезпечується додаванням поліетіленполіаміду);
- швидко твердіючий двокомпонентний поліуретановий герметик;
- швидко твердіючий не розширюємий низькоекзотермічний двокомпонентний герметик;
- термоусаджувані мастики.

Часто при використанні методів холодної герметизації користуються їх комбінацією, тобто застосовують прокладки, що встановлюються між деталями корпусу, що сполучаються, і герметизуючі компаунди.

До гарячих методів герметизації елементів корпусу муфти відносяться використання термоусаджуваних матеріалів. Для цього використовуються термоусаджувані трубки, на внутрішню поверхню яких наноситься тонкий шар підклеюючого матеріалу, наприклад, севілену. До початку монтажу муфти, на кінці ВОК або елементів корпусу муфти надівають відрізки термоусаджуваних трубок, по одній на кожен стик. Після завершення монтажу, відрізки термоусаджуваних трубок насовують на стики і рівномірно прогрівають. В

результаті відрізки термоусаживаємих трубок щільно обтягують стики і забезпечують не лише герметичність, але і механічну міцність стику.

Перевага гарячого методу – простота реалізації. Недоліки:

- потреба в джерелі теплової дії;
- неможливість повторного використання елементів герметизації після демонтажу муфти.

Вводи ВОК можуть бути виконані:

- у вигляді патрубків на один або кілька ВОК;
- у вигляді збірних конструкцій.

Основні вимоги до кабельних вводів:

- забезпечення волого- та газоізолюючих властивостей з'єднання вводу ВОК з корпусом муфти;
- можливість використання однотипних герметизуючих елементів для різних діаметрів ВОК;
- можливість повторного монтажу муфти.

Герметизація вводів ВОК також здійснюється методами холодної та гарячої герметизації. Методи холодної герметизації засновані на використанні механічних затискачів, ущільнювальних втулок, наповнювачів, герметиків та клейових речовин. Методи гарячої герметизації засновані на кріпленні за допомогою термоусаджуваних матеріалів.

Фіксація ВОК в муфті відбувається шляхом фіксації його силових елементів та оболонок. Фіксація оболонок зазвичай виконується шляхом герметизації вводів ВОК. Фіксація силових елементів здійснюється всередині муфти шляхом:

- з'єднання силових елементів в стик за допомогою зв'язування, перепаювання або механічних з'єднувачів;
- фіксації силових елементів за допомогою затискачів, колодок або гвинтових фіксаторів, які розміщуються на внутрішній основі корпусу муфти;
- установки анкерних затискачів, що запобігають витягуванню ВОК з корпусу муфти.

Іноді фіксація ВОК в муфті здійснюється комбінованим способом, шляхом встановлення на оболонку ВОК захватів, які з'єднуються з затискачем для ЦСЕ.

Технічні вимоги до муфт, наведено в таблиці 7.4.

Таблиця 7.4 — Технічні вимоги до муфт для монтажу волоконно-оптичних кабелів зв'язку.

Характеристика	Нормативний документ	Норма	Метод випробування
Зовнішній вигляд	ТД на виріб	Відсутність видимих дефектів	IEC 61300-3-1a
Відповідність габаритним, установочним та з'єднувальним розмірам	ТД на виріб	Відповідність кресленням ТД	IEC 61300-3-1b
Стійкість до згинання приєднаного кабелю	ТД на виріб	Герметичність. Відсутність переміщення кабелю	IEC 61300-2-37
Стійкість до розтягувальних зусиль	ТД на виріб	Герметичність. Відсутність переміщення кабелю	IEC 61300-2-4
Протидія удару	ТД на виріб	Герметичність. Відсутність видимих дефектів	IEC 61300-2-12
Стійкість до статичного навантаження	ТД на виріб	Герметичність. Відсутність видимих дефектів	IEC 61300-2-10
Стійкість до кручення приєднаного кабелю	ТД на виріб	Герметичність. Відсутність переміщення кабелю	IEC 61300-2-5
Стійкість до вібрації	ТД на виріб	Герметичність. Відсутність видимих дефектів. Приріст загасання < 0,1 дБ	IEC 61300-2-1
Стійкість до падінь	ТД на виріб	Герметичність. Відсутність переміщення кабелю	IEC 61300-2-12 метод С
Стійкість до циклічного змінення температури	ТД на виріб	Герметичність. Відсутність видимих дефектів. Приріст загасання < 0,1 дБ	IEC 61300-2-22
Опір агресивним середовищам	ТД на виріб	Герметичність. Відсутність видимих дефектів	IEC 61300-2-34
Стійкість до впливу сонячної радіації	ТД на виріб	Герметичність. Відсутність видимих дефектів	IEC 61300-2-30
Стійкість до впливу соляного туману	ТД на виріб	Герметичність. Відсутність видимих дефектів	IEC 61300-2-26
Можливості багаторазового монтажу	ТД на виріб	Герметичність	IEC 61300-2-33

Нижче розглянемо конструкції найбільш застосовуваних на телекомунікаційних мережах України муфт.

Універсальна муфта FIST-GCO2 (рисунк 7.3) це герметична волоконно-оптична система комутації, яка забезпечує функціонування з'єднань ОВ та пасивних компонентів оптичних мереж [6.9]. Муфта є тупиковою за конструкцією та універсальною за функціями. Основа та корпус герметизуються механічним способом за допомогою хомута з кільцевою прокладкою.

Має 6 або 16 круглих портів для відгалужених кабелів та 1 овальний порт для прохідного кабелю.



Рисунок 7.3 — Універсальна за функціями муфта FIST-GCO2.

на касетах та у вигляді оптичних модулів між профілями. Є корзини для зберігання запасу оптичних модулів кабелю з волокнами.

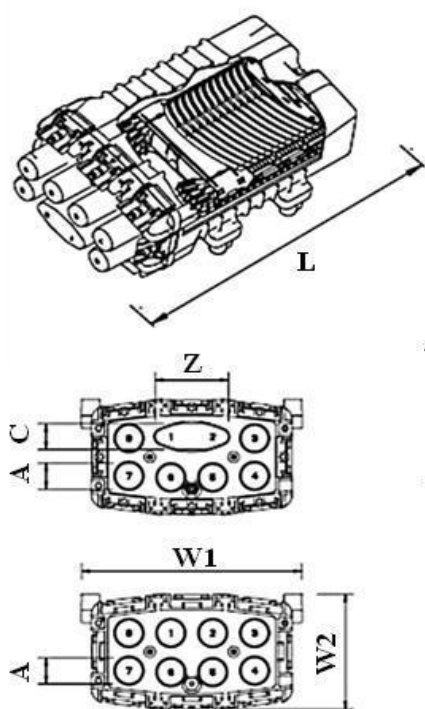


Рисунок 7.4 — Універсальна компактна муфта FIST-GCO2-F.

SASA2. Транзитні волокна розміщуються на касетах одинарного кола (SC) або у вигляді оптичних модулів.

Муфта оптична для міських та магістральних мереж FOSC-400 призначена для з'єднання та розгалужування ВОК з малою кількістю ОВ. Муфта випускається в чотирьох модифікаціях (таблиця 7.5).

Укомплектована універсальним монтажний профілем UMS, на якому монтуються різні комбінації касет модульної збірки SOSA2 та/або модульними збірками касет з оптичними розгалужувачами SASA2.

Сумісна з більшістю існуючих конструкцій ВОК, такими як кабель з центральним профільованим осердям, модульної конструкцією, стрічковим кабелями.

Запас нерозрізаних волокон може бути укладений одиночними ланцюгами

Універсальна компактна муфта FIST-GCO2-F (рисунок 7.4) це герметична та захищена від дії довкілля система організації оптичних волокон, яка забезпечує функції з'єднання та інтеграції пасивних компонентів в мережах загального користування [7.9].

Прямокутна форма корпусу має інтегрований кронштейн для настінного монтажу. Основа та корпус герметизуються за допомогою заціпок та кільцевої прокладки. Містить 6 або 8 круглих портів для відгалужених кабелів та 1 овальний порт для лінійного кабелю.

Сумісна з більшістю існуючих конструкцій кабелів.

Містить профіль UMS для монтажу різних комбінацій модулів SOSA2 та/або

Таблиця 7.5 — Технічні характеристики муфт FOOSC 400

Муфта	Максимальна кількість з'єднань в муфті			Смність касет для зберігання транзитних ОВ		
	Одинарна зварка	Одинарне механічне з'єднання	СВЕ 4 ОВ	Оптичні модулі	Вільна укладка ОВ	СВЕ 12 ОВ
FOOSC 400 A4	48	24	24	8	96	6
FOOSC 400 B2, B4	96	48	288	6	96	24
FOOSC 400 D5	576	288	864	18	96	72



Рисунок 7.5 – Муфта FOOSC 400 A4

Для спрощення монтажу та розкриття в муфті передбачена механічна герметизація корпусу з основою. Кожух муфти FOOSC 400 [7.10] кріпиться до основи за допомогою хомута з замком. Стик герметизується спеціальним ущільнювачем. Герметизація кабельних вводів здійснюється за допомогою термоусаджуваних манжет.

Усі муфти FOOSC 400 (рисунок 7.5) мають касети відкидної конструкції, що забезпечує вільний доступ до будь-якого ОВ, а також касету для викладення запасу невикористаних оптичних модулів. Така

конструкція виключає внесення втрат до оптичного сигналу. Крім того, будь-яке волокно може переходити з однієї касети на іншу за допомогою міжкасетної сполучної системи.

Муфти FOOSC 500 застосовуються на магістральних лініях (рисунок 7.6) [7.11, 7.12]. Ці муфти прохідної конструкції можуть використовуватися як тупікові або як розгалужувальні.

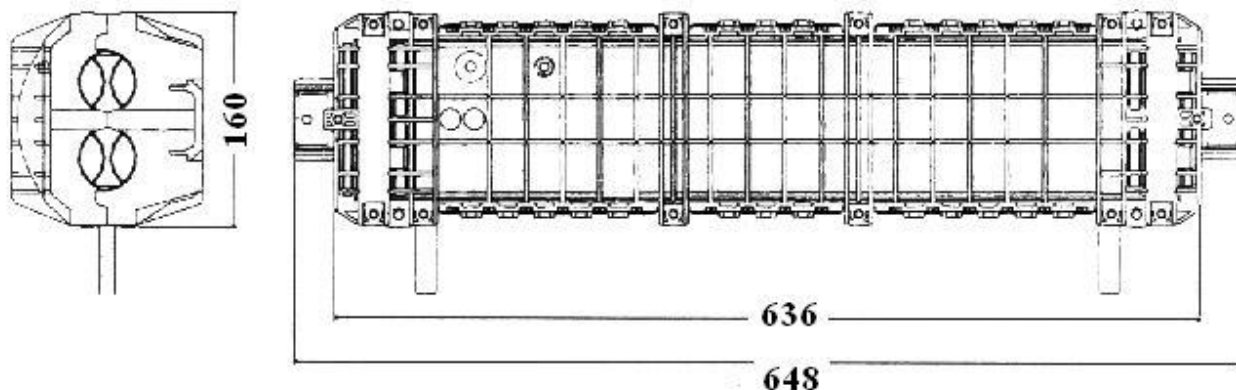


Рисунок 7.6 – Муфта FOOSC 500B.

Усередині пластикового корпусу знаходиться металева основа, на якій розташовані фіксатори кабелю та організатор, розрахований на розміщення

касет на 16 або 24 зростки ОВ. Герметизація кабельних вводів здійснюється холодним способом за допомогою гелевих стрічок. Герметизація корпусу здійснюється за допомогою гумових ущільнювачів, розташованих в металевих замках, таким чином, монтаж муфти виконується без використання джерел тепла. Защіпки та шарнірне з'єднання двох частин корпусу дозволяють проводити демонтаж і повторний монтаж муфти.

Муфта має дві модифікації (таблиця 7.6), що розрізняються кількістю і діаметрами з'єднуваних БОК.

Таблиця 7.6 — Технічні характеристики муфт FOSC 500

Характеристика	Муфта FOSC-500AA	Муфта FOSC-500B
Кількість касет	1	6
Максимальна кількість ОВ	24 / 48	144
Кількість вводів	2+2	2+4
Діаметри БОК, мм	Від 5 до 15	Від 7 до 40

З'єднувальні муфти компанії Reichle+De-Massari (рис.7.7) складається з корпусу, кабельних вводів та організатора. В залежності від розміру муфти, організатор може містити до 12 (або 2×12) з'єднувальних касет, які укладаються стосом і відкидаються для обслуговування довкола осі шарніру. Муфта призначена для застосування над поверхнею землі, на рівні землі та під землею. В залежності від умов застосування може мати горизонтальне (прохідний варіант) та вертикальне (тупиковий варіант) виконання, що дозволяє розміщувати змонтовану муфту на стіні, опорі, в колодязі кабельної каналізації та безпосередньо в ґрунті. Для надійного функціонування в муфті передбачені: клапан контролю внутрішнього тиску (до 1 бар) та гвинт заземлення. Елементи герметизації корпусу забезпечують можливість багаторазового ремонту муфти.



Рисунок 7.7 – Муфта компанії Reichle+De-Massari.

Корпус муфти являє собою поліетиленовий циліндр. На входному фланці розташовані кабельні вводи. Вхідний фланець з'єднується з корпусом за допомогою гайки, вихідний фланець – за допомогою двох напівкруглих скоб та фіксуючого кільця. Герметизація стиків фланців та корпусу відбувається завдяки резиновому ущільнювачу. Організатор розміщується на основі

всередині корпусу [7.13]. Кабельні вводи герметизуються за допомогою термоусаджуваних манжетів.

Муфта горизонтального виконання призначена для монтажу в підземних та наземних умовах, і розрахована для розміщення до 288 ОВ.

Муфта вертикального виконання розроблена для розміщення на стінах або опорах повітряних ліній, і розрахована для з'єднання до 144 ОВ.

Крім того, муфти розрізняються за призначенням:

- тип RM – для з'єднання та відгалуження лінійних ВОК ємністю до 144 ОВ;
- тип FL – для монтажу ВОК в кільцевих мережах ємністю до 144 ОВ;
- тип LC – для постійних з'єднань та відгалужень лінійних ВОК ємністю до 72 ОВ.
- Технічні характеристики муфт горизонтального виконання подані у таблиці 7.7, муфт вертикального виконання – у таблиці 7.8.

Таблиця 7.7 — Технічні характеристики муфт горизонтального виконання

Кількість ОВ	Кількість касет	Вхід (Е) / Вихід (А)	Зовнішній діаметр корпусу	Максимальний діаметр вихідного фланця	Довжина муфти
до 24	2	2xØ22 мм / 2xØ22 мм	125 мм	155 мм	400 мм
до 72	6	2xØ22 мм / 3xØ22 мм	140 мм	170 мм	400 мм
до 144	12	1xØ32/22 мм / 6xØ22 мм	180 мм	215 мм	400 мм
до 288	2x12	1xØ32/22 мм / 6xØ22 мм	180 мм	215 мм	630 мм

Таблиця 7.8 — Технічні характеристики муфт вертикального виконання

Кількість ОВ	Кількість касет	Вхід (Е)	Зовнішній діаметр корпусу	Максимальний діаметр вихідного фланця	Довжина муфти
до 24	2	3xØ22 мм	125 мм	155 мм	300 мм
до 72	6	4xØ22 мм	140 мм	170 мм	300 мм
до 144	12	5xØ22 мм	180 мм	215 мм	400 мм
до 72	6	4xØ22 мм, 1 овальний 70x40 мм	160 мм	200 мм	400 мм

З'єднувальна муфта NCD 504 (рисунк 7.8) компанії Ericsson призначена для з'єднання лінійних ВОК. Муфта призначена для розміщення на опорах повітряних ліній, в колодязях кабельної каналізації та безпосередньо в ґрунт. Муфта тупикової конструкції. Зовнішні розміри муфти складають 342x262x140 мм (з кришкою 190 мм), маса 3,2 кг.



Рисунок 7.8 – Муфта NCD 504.

кріпляться до дна корпусу за допомогою фіксаторів та шпильок. Між собою касети з'єднуються зачіпками [7.14].



Рисунок 7.9 – Муфта NCD 503.

мм), маса до 5 кг.

Стандартні муфти містять організатор до 6 касет, що дозволяє з'єднувати до 72 ОВ або 36 СВЕ. При варіанті з високою кришкою організатор до 8 касет, що дозволяє з'єднувати до 96 ОВ або 48 СВЕ.

Корпус з'єднується з кришкою болтами та герметизується за допомогою гумового ущільнювача. Муфта має три кабельні вводи: два круглі (25 мм) для одного ВОК кожний та один овальний для вводу до трьох ВОК. Герметизація вводу ВОК здійснюється за допомогою термоусаджуваних трубок. Касети для викладки запасу ОВ кріпляться до дна корпусу за допомогою фіксаторів та шпильок. Між собою касети з'єднуються зачіпками [7.15].

Серія оптичних кабельних муфт 2178 (рисунок 7.10) компанії ЗМ призначена для використання з ВОК, що прокладаються в кабельній каналізації, ґрунті та підвішуються на опорах повітряних ліній зв'язку.

Стандартні муфти містять організатор з 4 касетами, що дозволяє з'єднувати до 48 ОВ або 24 стрічкові волоконні елементи (СВЕ). Корпус з'єднується з кришкою болтами та герметизується за допомогою гумового ущільнювача. Муфта має три кабельні вводи: два круглі (24 мм) для одного ВОК кожний та один овальний (53,1х23,1 мм) для вводу кількох ВОК. Герметизація вводу ВОК здійснюється за допомогою термоусаджуваних трубок. Касети для викладки запасу ОВ

З'єднувальна муфта NCD 503 (рисунок 7.9) компанії Ericsson призначена для з'єднання лінійних ВОК. Муфта призначена для розміщення на опорах підвісних ліній, в колодязях кабельної каналізації та безпосередньо в ґрунт. Муфта тупикової конструкції. Корпус муфти зроблений з нержавіючої сталі. Зовнішні розміри муфти складають 342х242х110 (з кришкою 145

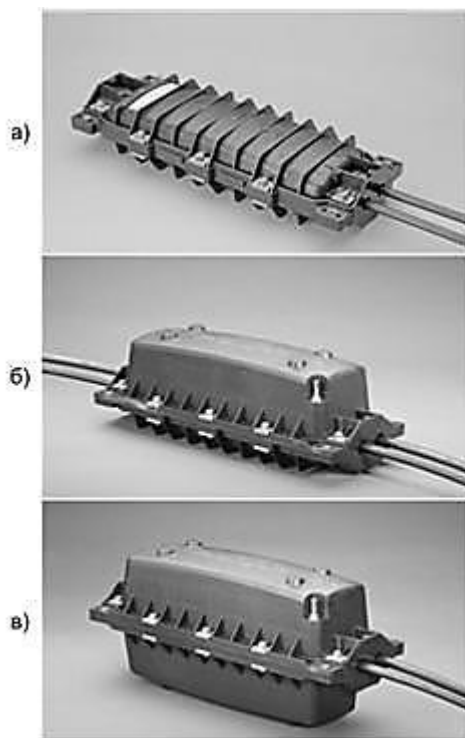


Рисунок 7.10 – Оптична муфта
2178-S (а), 2178-LS (б) та 2178-LL (в).

Корпус муфт виконано з міцної пластмаси і являє собою систему взаємозамінних сумісних великих та малих напівмуфт, комбінація яких дає змогу формувати муфти потрібної ємності, а при необхідності нарощувати ємність вже існуючої мережі. Напівмуфти з'єднуються між собою за допомогою гвинтів. Корпус муфти оснащено клапаном для контролю герметичності надмірним повітряним тиском [7.16].

В залежності від кількості касет (зазвичай: 2, 4, 5, 8 або 10) максимальна ємність муфти складає:

- від 24 до 192 окремих механічних з'єднань (Fibrlok);
- від 16 до 120 (від 192 до 1440 ОВ) стрічкових механічних з'єднань (Fiberlok Multi-Fiber);
- від 48 до 480 окремих зварних з'єднань;
- від 20 до 120 (від 240 до 1440 ОВ) стрічкових зварних з'єднань.

Універсальна оптична муфта 2179-CS (рисунок 7.11) компанії 3М призначена для монтажу ВОК, що прокладаються в ґрунт, кабельній каналізації та підвішуваних на опорах повітряних ліній зв'язку.

Корпус муфти виготовлено з міцного пластику, герметизація корпусу та кабельних вводів здійснюється мастиками, що дозволяє проводити монтаж муфти без застосування нагрівання. Повітряний клапан призначається для перевірки герметичності муфти після монтажу. Муфта 2179 CS має по два кабельні вводи з кожної сторони, що дозволяє використовувати її як універсальну; тобто як тупикову, прохідну або розгалужувальну [7.17].

Габаритні розміри муфти 398,8x175,3x106,7 мм, маса 1,7 кг. Максимальна кількість введених кабелів діаметром від 10 до 15 мм – 4. Максимальна кількість касет – 2, що дозволяє з'єднувати до 48 ОВ.

7.4 Узагальнена технологія монтажу оптичних кабельних муфт

Монтаж муфт повинен виконуватися відповідно до інструкції по інсталяції або технологічної карти на монтаж муфти конкретного типу [7.18, 7.5, 7.7].

Монтаж муфт може виконуватися в приміщенні, спеціально обладнаній лабораторії вимірювань та монтажу оптичних кабелів (ЛВМОК)-автомашині із

закритим кузовом типу КУНГ (кузов уніфікований нормального габариту) або спеціальному монтажному наметі.

В ЛВМОК повинне розміщуватися робоче місце, обладнане пристроєм для закріплення кінців монтуємого ВОК. Мають бути передбачено місце для зварювального апарату і роботи з ним під час монтажу муфт, а також ящики для монтажних матеріалів та інструментів.

Для роботи монтажників мають бути передбачені стільці, що обертаються, з регульованою висотою. У передній частині кузова має бути розташована шафа для зберігання вимірювальних приладів, а також монтажний стіл для виконання супутніх робіт. У кузові мають бути передбачені місця для великогабаритних інструментів, устаткування і матеріалів.

Освітлення в салоні кузова може бути природне – через вікна (для світлого часу доби), або штучне – від ламп в плафонах напругою 12 В, розміщених біля монтажного столу. Електроживлення всього електроспоживаючого устаткування повинне здійснюватися від бортової електромережі 12 В або портативного бензоагрегату. Для підключення бензоагрегату до щитка живлення має бути передбачений комплект шнурів на котушках.

Для проведення вимірів під час монтажу слід використовувати ще одну ЛВМОК на іншому кінці будівельної довжини ВОК або спеціалізований монтажний намет, що має відповідні засоби вимірювальної техніки, монтажні матеріали, інструменти та джерело електроживлення.

Для монтажу муфт повинні використовуватися спеціальні інструменти і прилади, вказані у відповідних розділах інструкцій по монтажу або технологічних картах на монтаж муфт.

Роботи по монтажу муфти починають з підготовки ВОК до монтажу. Для цього, перед початком робіт потрібно переконатися в тому, що кінці прокладеного ВОК герметично закриті поліетиленовими ковпачками (перевіряється візуально). Ковпачки знімаються лише перед монтажем або при необхідності проведення додаткових контрольних вимірювань з обов'язковою подальшою герметизацією кінців ВОК до монтажу. Запас ВОК для монтажу з'єднувальної муфти в монтажно-вимірювальній автомашині має бути не менше 8 м на кожній будівельній довжині.

Далі переходять безпосередньо до монтажу муфти. Монтаж муфт складається з проведення наступних операцій.

1) При необхідності, перед початком монтажу ВОК виконують підготовку кабельних введів муфти:

- видаляють заглушки,
- свердлять отвори,

– розбирають складні конструкції.

2) Кінці ВОК на довжині 2,5 м протирають дрантям (спочатку змоченим в уайт-спіриті, а потім – сухим) з метою очищення поверхні від грязі, пилу, масел, жирів і інших сторонніх речовин. Якщо герметизація вводу здійснюється шляхом усадки термоусаджуваних матеріалів, на кожен кінець ВОК насовують по одному поясу термоусаджуваної трубки відповідної довжини, після чого кінці ВОК вводять у кабельний ввід. На відстані 1,2...2,0 м від кінців ВОК видаляють зовнішню поліетиленову оболонку і гідрофобне заповнення. Після цього видаляють армуючі елементи, внутрішню оболонку і корделі, за наявності таких. При необхідності, виконують перепаявання (з'єднання) металевих елементів ВОК і здійснюють виведення заземлення.

3) Герметизація кабельних ввідів виконується згідно інструкції по інсталяції або технологічній карті на монтаж.

4) Після герметизації кабельного вводу виконують фіксацію силових елементів ВОК.

5) У ВОК , що містять мідні провідники, виконується їх з'єднання. Провідники зрощують колір в колір. Місця скручування пропаяють паяльником або сполучають за допомогою механічних з'єднувачів. Зрощення мідних провідників можна виконувати також після зварки ОВ і остаточної установки касет, якщо це дозволяє конструкція муфти.

6) Після фіксації ВОК в кабельному вводі проводять підготовку організатора. Для цього, залежно від конструкції організатора, встановлюють або знімають частину касет, на робочу поверхню яких виводять і закріплюють оптичні модулі, пучки ОВ або групи СВЕ, які заздалегідь очищають від гідрофобного компаунда за допомогою етилового спирту або за допомогою спеціальних серветок. За наявності оптичних модулів, після їх виведення на лицьову поверхню касети з ОВ, видаляють надлишки трубок модулів, а ОВ очищають від внутрішньомодульного гідрофобного компаунда. У міру проведення монтажу муфти встановлюють наступні касети із складу організатора.

7) З'єднання ОВ відбувається згідно технології, вибраної на стадії проектування. Місця зрощення ОВ (механічні з'єднувачі, зварні з'єднання із захисним комплектом тощо) розміщують в спеціальних фіксаторах, після чого викладається технологічний запас ОВ. Після завершення з'єднання останнього ОВ касети організатора закривають і фіксують (зв'язують).

8) Встановлення корпусу муфти і подальша герметизація муфти виконується відповідно до інструкції по інсталяції або технологічній карті на монтаж.

9) Змонтована муфта, в залежності від умов прокладання кабелю, може розміщуватись в котловані, в оглядовому пристрої, в приміщенні, на опорі підвісної лінії, або в іншому місці. Технологічний запас ВОК (приблизно по 8 м з кожного боку) змотується кільцями і розміщується біля муфти. Радіус змотаного ВОК не повинен бути менше допустимого для даного типу ВОК.

7.5 Рекомендації щодо вибору оптичних кабельних муфт

Вибір муфт для монтажу ВОК проводиться за аналізом конкретних умов прокладки та конфігурації мережі [7.6, 7.19].

При виборі муфти необхідно враховувати наступні аспекти:

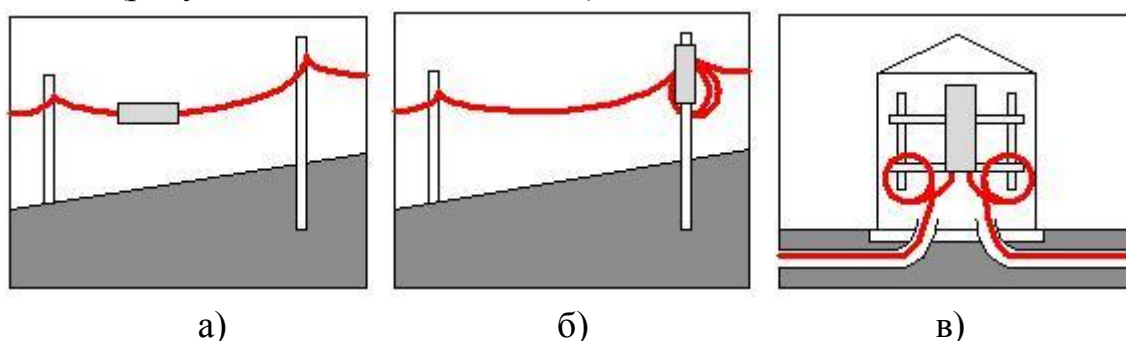
- ємність (кількість та конструкція з'єднаних ВОК);
- конструкція муфти;
- конструкція організатора;
- умови застосування.

Ємність муфти має забезпечувати можливість з'єднання як необхідної кількості ВОК (кількість кабельних портів), так і кількості ОВ (ємність організатора).

При виборі конструкції муфти враховується:

- призначення муфти (з'єднувальна або розгалужувальна);
- її розміщення (безпосередньо в ґрунт, в оглядовому пристрої кабельної каналізації, на опорі повітряної лінії зв'язку, контактної мережі електротранспорту, лінії електропередачі).

Муфти прохідної конструкції головним чином застосовуються для з'єднання кабелів великої ємності. Найбільш ефективно їх застосування в з'єднувальних лініях зв'язку при монтажі в прольоті між опорами підвісних ліній зв'язку, при прокладанні безпосередньо в ґрунт або в кабельній каналізації (рисунки 7.12а, 7.13а та 7.13б).

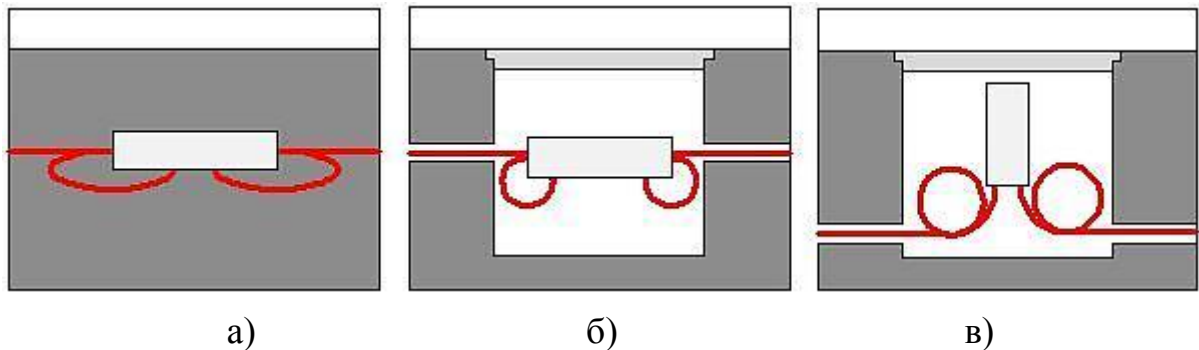


- а) на підвісних лініях в прольоті між опорами;
- б) на підвісних лініях на опорі;
- в) на підземних лініях в шафах.

Рисунок 7.12 – Варіанти розміщення змонтованих муфт для монтажу ВОК [7.20].

Муфти тупикової конструкції, зазвичай, застосовуються для розгалужування оптичних кабелів середньої ємності в мережах кільцевої або зіркоподібної топології. Застосовуються при монтажі на опорах повітряних ліній, при прокладанні безпосередньо в ґрунт або в кабельній каналізації (рисунки 7.12б, 7.13в)).

Муфти зі знімними або рознімними корпусами переважно використовуються для з'єднання оптичних кабелів малої ємності в розподільних мережах та розміщуються в оглядових пристроях кабельної каналізації, колекторах або в шафах (рисунки 7.13б), 7.13в)).



а) на підземних лініях безпосередньо в ґрунт; б) на підземних лініях в оглядових пристроях (прохідна муфта); в) на підземних лініях в оглядових пристроях (тупикова муфта).

Рисунок 7.13 – Варіанти розміщення змонтованих муфт для монтажу ВОК [7.20].

Рекомендовані технічні вимоги до оптичних кабельних муфт, що застосовуються на різних типах мереж та різних умовах прокладання ВОК, приведені в таблиці 7.9.

Таблиця 7.8 — Технічні вимоги до оптичних кабельних муфт.

Характеристика муфти	Магістральні та зонові ВОЛЗ			Місцеві ВОЛЗ
	Що прокладаються в ґрунт	Що прокладаються в захисних трубах	Підвісні	Що прокладаються в кабельній каналізації
Особливості муфт	Тупикові	Прохідні	Тупикові, із знімними корпусами	Прохідні
Розміщення муфт	В котловані, в оглядовому пристрої або шафах (на зонових ВОЛЗ)	В малогабаритних оглядових пристроях або шафах (на зонових ВОЛЗ)	На опорах	В колодязях або колекторах
Статичний гідравлічний тиск, кПа	До 60		Вимоги відсутні	До 60
Осьове розтягуюче зусилля, що прикладається до кабелю	До 20% від максимального розтягуючого зусилля кабелю	До 450 Н	До 100 Н	До 450 Н
Вібрація	Частотою 10—80 Гц з амплітудою прискорення 10 м/с ²			
Удар	10 Дж			
Згин введеного кабелю	± 45°			
Осьове кручення введеного кабелю	± 90°			
Вморожування в лід	Обов'язково		Вимоги відсутні	Обов'язково
Стійкість до ґрунтової корозії	Обов'язково	Вимоги не пред'являються		
Стійкість до інею, роси, дощу, пилу, сольового туману, сонячного випромінювання	Вимоги не пред'являються		Обов'язково	Вимоги не пред'являються

Важливою частиною внутрішньої конструкції муфти є організатор для зберігання місць з'єднань та запасу ОВ. Спосіб укладання місць з'єднань та запасу ОВ має визначатись рівнем та топологією мережі. При виборі внутрішньої конструкції муфти необхідно враховувати:

- адаптацію до конкретного типу ВОК (модульна конструкція, центральна захисна трубка, профільоване осердя);

-
- фіксацію силового(вих) елементу(тів) та його(їх) типу (сталевий трос, склопластиковий стрижень, пучок синтетичних ниток);
 - організацію електричної безперервності металевих елементів (за потреби).

При виборі організатора необхідно враховувати ряд аспектів, пов'язаних з:

а) конструкцією з'єднуваного кабелю:

- індивідуальні ОВ;
- СВЕ;
- модульний тип;
- жорсткий буфер;
- тип первинного та вторинного покриття ОВ;

б) типом з'єднання;

в) призначенням муфти.

Організатор має забезпечувати розміщення та зберігання необхідної кількості ОВ та їх запас.

Організатор має забезпечувати розміщення та зберігання вибраного типу з'єднання ОВ:

- зварені;
- механічні (нерознімні або рознімні).

Кожний тип з'єднань має свої габаритні розміри і розрахований на певні засоби монтажу. Як правило, у провідних виробників муфт є стандартні комплекти ложементів для розміщення конкретних типів з'єднань, які розміщуються на стандартних касетах організатору.

Організатор повинен забезпечувати викладення запасу ОВ з допустимим радіусом вигину. Рекомендується використовувати радіус вигину ОВ не менше 30 мм, що дозволяє забезпечувати залишкову деформацію ОВ на рівні не більше 0,2%.

Організатор повинен допускати можливість зберігання вільного ОВ певної довжини або ОВ, вільно укладеного в захисній трубці (ОМ).

Тип організатора вибирається виходячи з вимог мережі(її структури і конфігурації).

Незалежно від структури мережі, яка може бути спроектована як мережа із зіркоподібною/деревовидною топологією, або як мережа з кільцевою/петльовою топологією (рисунок 7.14), існують різні ієрархічні рівні мереж, що вимагають особливих систем укладання ОВ.

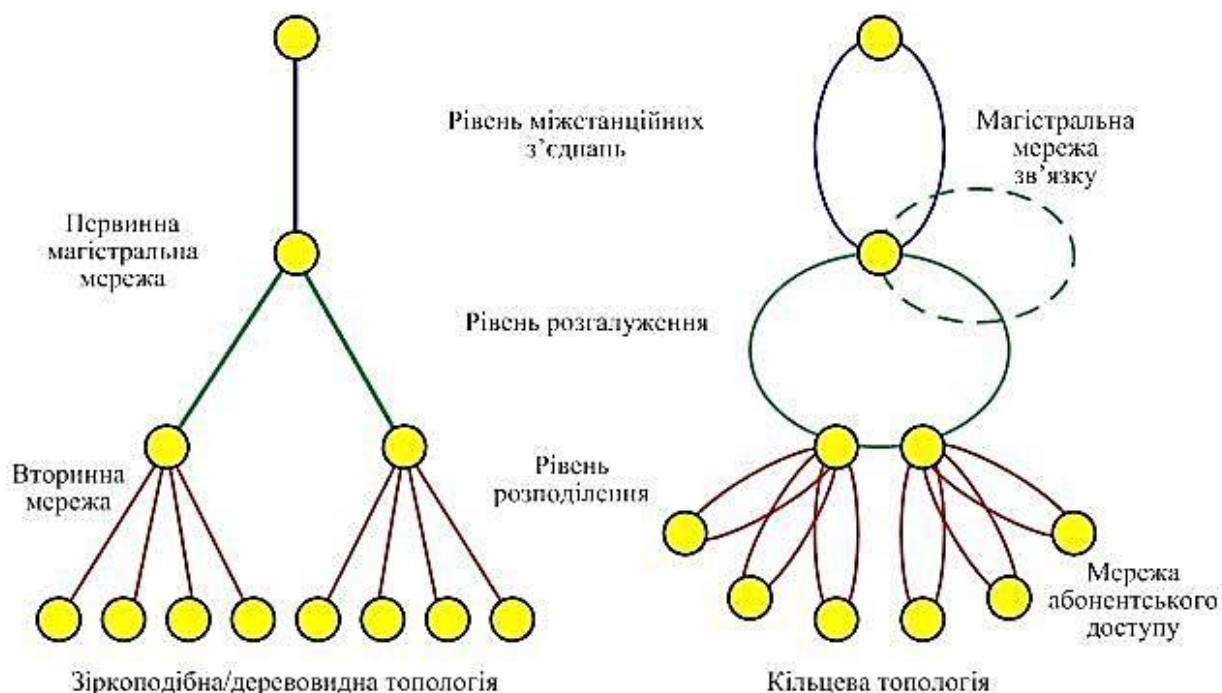


Рисунок 7.14 – Топології волоконно-оптичних мереж [7.21].

На ділянці міжстанційного з'єднання магістральні кабелі утворюють прямі лінії зв'язку між телефонною станцією і головними точками розгалуження. Зазвичай відгалуження від цих кабелів у майбутньому не планується, оскільки доступ до окремих зростків в майбутньому не буде потрібний. Отже, зростки ОВ або ОМ можуть зберігатися поодиночі в окремих касетах (касетах для окремого елемента). Для забезпечення вищої щільності декілька касет для зростків ОВ монтуються у вигляді блоків (пакетний доступ до касет).

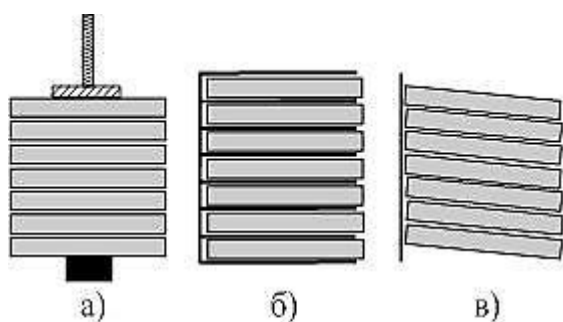


Рисунок 7.15 – Форми розміщення касет для зростків [7.21].

- а) пакетне розміщення;
- б) доступ до окремих касет;
- в) доступ до окремих користувачів.

Для пакетного доступу до касет застосовується певна система укладання ОВ, при якій касети для зростків укладаються на стрижень з різьбленням (тримач касет) і фіксуються за допомогою гайки з накаткою (риунок 7.15 а).

На ділянці розгалуження муфта повинна захищати зростки ОВ на стику магістральних і відгалужувальних кабелів. Оскільки доступ до окремих зростків ОВ в майбутньому не

планується, в муфтах переважно використовувати систему укладання ОВ з пакетним доступом до касет.

Мережі на ділянці розподілу (як правило, локальні), являють собою з'єднання між відгалужувальними та розподільними, або відгалужувальними та абонентськими кабелями. Зазвичай вони проектується для сьогодення і

найближчого майбутнього. Розподільні кабелі прокладаються до крайових точок лінії, таких, як дорожній бордюр (волоконно-оптична лінія “волокно до краю дороги”), або оптоелектронних перемикачів мереж кабельного телебачення (оптичний мережевий блок), або корпоративних (бізнес) користувачів. З’єднання усіх ОВ (одного елементу кабелю, або пучка) між відгалужувальним і розподільним кабелями, зберігаються в окремих касетах. Для забезпечення можливості перемикання потрібний доступ до кожної касети для зростків ОВ. Це досягається шляхом зберігання касет по одній (кожна з надлишковою довжиною ОВ) в організаторі шляхом шарнірного з’єднання певної кількості касет одна з одною, що забезпечує доступ до зростків конкретної касети шляхом відкидання довкола шарнірної осі непотрібних касет (рисунок 7.15 б).

Мережі абонентського доступу є частиною розподільних мереж. У випадках, коли користувачами є такі установи, як наприклад, органи державної влади, установи з дуже великими об’ємами передачі інформації – так звані корпоративні користувачі, ОВ таких користувачів мають бути захищені від можливих пошкоджень при проведенні маніпуляцій з ОВ інших абонентів. У муфтах такої мережі, на розподільній ділянці ОВ індивідуальних користувачів укладаються в окремих касетах для зростків (укладання в касеті для окремої лінії). Такі касети для зростків дають можливість доступу без перешкод до окремих ліній. Можливі два варіанти:

- конструкція організатора з відкиданням довкола осі окремих касет (рисунок 7.15 б),
- конструкція організатора з висуненням окремих касет довкола осі шарніру (рисунок 7.15 в).

Кожна система сумісна з іншими елементами мережі. Можливі поєднання способів укладання ОВ “окрема лінія” і “окремий елемент” в одній і тій же муфті.

При виборі потрібного типу муфти, окрім вище перерахованого, слід додатково враховувати, що:

- матеріали, які використовуються для виготовлення муфти, мають бути сумісні з матеріалами, з яких виробляються оболонки ВОК. Вони мають бути сумісні з іншими матеріалами, що використовуються для виробництва компонентів лінійно-кабельних споруд. Це дозволить запобігти корозії або іншим хімічним пошкодженням;
- якщо для монтажу муфти та/або для з’єднання муфти з оболонкою ВОК необхідне застосування тепла, на робочому місці слід передбачити відповідне джерело тепла (газовий пальник або електричний фен). Необхідно неухильно дотримуватись правил безпечного використання

нагрівального устаткування для захисту персоналу і запобігання пошкодженню муфти або ВОК;

- при розрахунку витрат часу на монтаж ВОК необхідно передбачити допуски на час твердіння заливних компаундів в теплу і холодну пору року, а також при високій вологості;
- технологічні операції по герметизацію стиків і інші монтажні операції мають реалізовуватися в робочому діапазоні температур при монтажі;
- в разі вживання ВОК з електричними провідниками (дроти дистанційного живлення, службового зв'язку, сигналізації і т. д.), має бути передбачена можливість безпечного з'єднання струмопровідних елементів ВОК;
- необхідно враховувати сумарну вартість установки муфти- вартість матеріалів і устаткування, вартість праці, що витрачається на установку муфти, з відповідними поправками на подальше технічне обслуговування і на повторні демонтажі муфти, що проводяться при ремонтно-відновних роботах, перемиканнях кабелів і тому подібне.

Перелік посилань до розділу 7

- 7.1 В.Б. Каток, І.Е. Руденко. З'єднання оптичних волокон у ВОЛЗ / – Зв'язок, № 1, 2005. – с. 51–53.
- 7.2 ITU-T Recommendation L.51 Passive node elements for fibre optic networks – General principles and definitions for characterization and performance.
- 7.3 IEC 61300-2-33 Fibre optic interconnecting devices and passive components – Basic test and measurement procedures – Part 2-33: Tests – Assembly and disassembly of.
- 7.4 Підвішування оптичних кабелів зв'язку: Навчальний посібник / Олійник В.Ф., Соловійов Д.О., Руденко І.Е. – К., ДУІКТ, 2004. – 119 с.
- 7.5 Тимчасове керівництво по прокладці, монтажу, вимірюванням і здачі в експлуатацію оптичних кабелів з одномодовими волокнами. – К.: НІЦ ЛКС, 1997.
- 7.6 В.Б. Каток, І.Е. Руденко. Муфти для монтажу оптичних кабелів зв'язку. Призначення, вимоги та основні характеристики / – Зв'язок, № 1, 2009. – с. 60–62.
- 7.7 Optical Fibres, Cables and Systems. ITU-T Handbook. 2010. – 299 p.
- 7.8 FIST-GCO2. Универсальная оптическая муфта FIST. TYCO Electronics.
- 7.9 FIST-GCO2-F. Универсальная компактная муфта FIST. TYCO Electronics.
- 7.10 FOSC 400. Волоконно-оптическая соединительная муфта. TYCO Electronics.
- 7.11 FOSC-500AA. Проходная муфта FOSC. TYCO Electronics.
- 7.12 FOSC-500B. Проходная муфта FOSC. TYCO Electronics.
- 7.13 Reichle+De-Massari Product Catalogue. Fiber Optics Solutions. March 2006.
- 7.14 Joint Closure, medium size, outdoor, plastic, NCD 504. Joint Closure for fiber optic cables. 28701-NCD 504 Rev E. Ericsson AB.
- 7.15 Joint Closure, medium size, outdoor, metal, NCD 503. Joint Closure for fiber optic cables. 28701-EN/LZT 108 1109 Rev D. Ericsson AB.
- 7.16 2178–L/S Series Fiber Optic Splice Cases and Accessories. 3M. 1997. 80-6109-3465-7.
- 7.17 Fibre Optic Closure 2179-CS. 3M. Dr.Nr. 07-404-68800/07.2003-pdf.
- 7.18 IEC 60529 Degrees of protection provided by enclosures (IP Code) (Степень защиты от проникновения (IP код)).
- 7.19 Н. Ющенко. Муфты для оптических кабелей – Электроника: Наука, Технология, Бизнес. – 2006, № 1. – с. 42— 46.

7.20 Accessories for Fiber Optic Networks. Edition 1. Corning Cable Systems. 2000.

7.21 Mahlke G., Gossing P. Fiber optic cables: fundamentals, cable engineering, systems planning. – Berlin; Munchen: Siemens-Aktienges., 1993. – 244p.

7.22 Каток В.Б., Руденко І.Е. Волоконно-оптичні кабелі зв'язку. – К., Логос, 2013. – 334 с.

8 ПРОКЛАДАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ КАБЕЛІВ

8.1 Загальні положення

Будівництво ВОЛЗ має виконуватись за розробленою та прийнятою замовником проектно-кошторисною документацією.

Виготовлення проектної документації є першим найважливішим етапом будівництва ВОЛЗ. Адже на етапі виконання проекту потрібно врахувати безліч факторів котрі впливатимуть на прокладений кабель. Загалом такі фактори можна поділити на дві основні групи:

1. Природні фактори:

- зміна температури;
- дуже низька температура;
- вітер;
- солоня вода;
- дощ і джерела термальних (гарячих) вод;
- сніг і лід;
- вода і волога;
- водний потік;
- пліснява і ріст цвілі та грибків, тощо;
- сонячне світло;
- удар блискавки;
- землетруси і зсуви, просідання ґрунту, каменепади, тощо;
- категорія і стан ґрунту;
- гризуни, птахи і комахи;
- водень.

2. Фактори спричинені життєдіяльністю людини:

- заводські викиди в атмосферу і забруднення повітря;
- руйнування доріг та атмосферні викиди в наслідок автомобільного навантаження (легкові, вантажні);
- індуковані напруги (тягові системи змінного струму, лінії електропередач);
- постійного струму;
- витік нафти і газу;
- пожежі;
- радіація;
- роботи по будівництву;
- водень.

В процесі підготовки до будівництва, як правило, мають бути виконані такі основні заходи [8.1]:

- вивчена проектно-кошторисна документація;
- вивчені схеми траси та умови проведення робіт у реальних умовах;
- складений проект плану проведення робіт та графіки їх виконання;
- визначені потреби в робочій силі;
- визначені потреби та підготовлені машини, механізми та автотранспорт;
- організовано матеріально-технічне забезпечення;
- вирішені організаційні питання взаємодії підрядника з представниками замовника.

У процесі ознайомлення з трасою в натурі особливу увагу слід звертати на складні ділянки:

- річкові переходи;
- перехрещення та паралельне прокладання з залізницями та автомобільними дорогами;
- прокладання кабелю по мостах, у тунелях, у заболочених місцях, на скелястих та гористих ділянках, у населених пунктах;
- місця стикування будівельних довжин ВОК (визначення можливості під'їзду лабораторії вимірювання і монтажу волоконно-оптичного кабелю).

За результатами ознайомлення уточнюються дані, наведені у проекті організації будівництва (варіант прокладання ВОК на різних ділянках траси, технологія будівництва ВОЛЗ, пункти розміщення кабельних майданчиків, тощо) і, в разі потреби узгоджуються із замовником (проектною організацією) відповідні зміни.

При будівництві ВОЛЗ, в основному, використовуються такі машини та механізми:

- мотопилки, кущорізи та корчувачі – для розчищення лісу, улаштування траси просік, корчування пнів;
- бульдозери – для планування траси, засипання траншей і котлованів, проведення робіт щодо рекультивації земель;
- екскаватори – для відкопування траншей і котлованів;
- траншеєкопачі – для відкопування траншей;
- універсальні екскаватори (ковш, кабелеукладник, фреза);
- відбійні молотки з джерелом живлення – для розробки скелястих та міцних ґрунтів;
- гідро- чи пневмобури – для улаштування переходів через дороги, залізниці тощо;

-
- кабелепрокладачі – для прокладання ВОК, захисних пластмасових труб та сигнально-попереджувальних стрічок ;
 - установки горизонтального направлено буріння (ГНБ);
 - автокрани – для вантажно-розвантажувальних робіт;
 - трасопрокладачі – для прокладання захисних дротів чи попереджувальних стрічок (якщо вони не прокладаються одночасно з кабелем);
 - якірні лебідки – для прокладання кабелю через болота;
 - комплекти механізованого інструменту – для проведення земляних робіт.

ВОК може прокладатись:

- в ґрунтах всіх категорій;
- під водою при перетині річок та неглибоких боліт;
- у кабельній каналізації, окремих трубопроводах, блоках, штатах, колекторах;
- підвішуватись на опорах повітряних ліній зв'язку (ПЛЗ), контактної мережі залізниці або електротранспорту (КМЗ) та ліній електропередачі (ЛЕП).

Прокладання (підвішування) ВОК має здійснюватись при температурі навколишнього середовища не нижче за температуру, наведену в технічних умовах на даний тип кабелю.

У процесі прокладання (підвішування) механічні навантаження на ВОК не повинні перевищувати допустимих норм, а радіус вигину має бути не меншим за допустимі значення, наведені у технічних умовах на даний тип кабелю.

У процесі прокладання ВОК потрібно вжити заходів, які б виключали можливість порушення його механічних та оптичних характеристик.

Розмотування ВОК має здійснюватись обертанням барабана, який розташований на осі. Забороняється розмотувати ВОК, тягнучи за кабель або перекочуючи барабан, а також знімати петлі кабелю зі щок нерухомого барабана. При розмотуванні ВОК з барабанів не можна допускати його різких вигинів та зламів внаслідок злипання або замерзання витків, неправильного намотування, різкої зміни швидкості обертання барабана тощо.

При будівництві волоконно-оптичних ліній зв'язку (ВОЛЗ) важливо дотримуватись правил та інструкцій на монтаж елементів лінійно-кабельних споруд.

Нехтування цими правилами на етапі будівництва може спричинити значні економічні витрати в процесі подальшої експлуатації ВОЛЗ.

Наприклад:

— незначна помилка в під час монтажу муфти (залишена занадто довга оболонка оптичного модуля, та недостатньо повно надіта захисна трубка) призвели з часом до перекручення оптичного модуля та появи надлишкових оптичних втрат в муфті (рисунок 8.1):

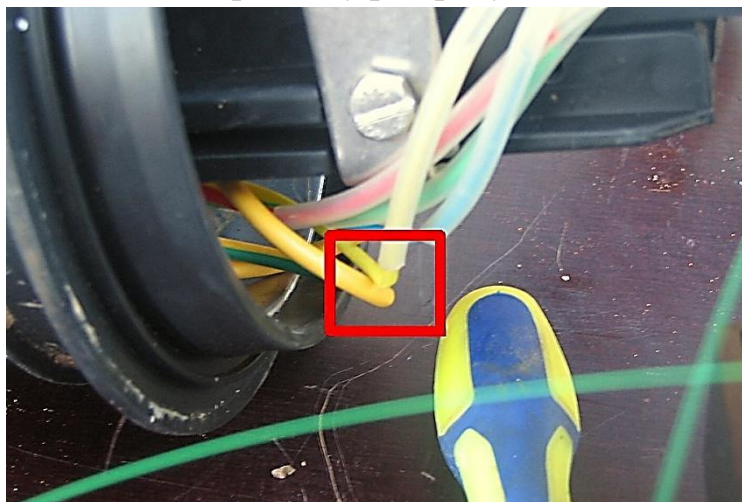


Рисунок 8.1 — Перекручення оптичного модулю в наслідок помилки під час монтажних робіт.

— не загерметизовані вводи в контейнер з обладнанням волоконно-оптичної системи передавання (ВОСП), стали причиною використання контейнеру гризунами, котрі спричинили пошкодження, що показано на рисунку 8.2.

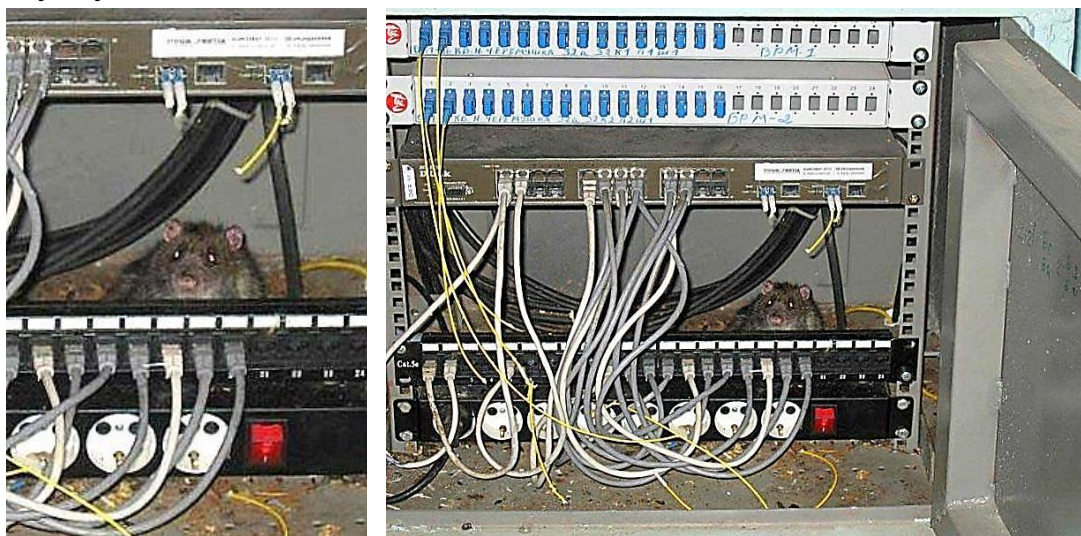


Рисунок 8.2 — Пошкодження вчинені гризунами в наслідок недостатньої герметичної закритості контейнеру.

— помилка під час виконання проектних робіт (не врахована ділянка траси з тенденцією до розмиву ґрунту, розташована біля дорожнього стоку і запроектовано та прокладено кабель без жодних мір захисту кабелю), призвели до постійних розмивів на цій ділянці ВОЛЗ та значних витрат експлуатуючої організації (рисунку 8.3).



Рисунок 8.3 — Розмив ділянки траси ВОЛЗ.

Значну кількість помилок при експлуатації та будівництві, має виявити технічний нагляд за виконанням робіт. Тож відсутність технічного нагляду або його неякісне проведення може призвести до значних збитків при експлуатації побудованої ВОЛЗ. Причому проблеми можуть виникнути найрізноманітніші. Наприклад:

- незадіяні, в даному проекті, ОВ та оптичні модулі, можуть бути просто обрізані на оптичному кросі або в муфті;
- не залишити запас кабелю або залишити менше чим потрібно по технологічним нормам;
- при нестачі матеріалів, виконавець може задіяти підручні засоби (пластикові труби, пляшки, манжети, тощо, для використання їх в якості муфт, використання ізоленти замість манжети для герметизації вводу в муфту, економія на гільзах захисту зростку і з'єднання кількох зростків оптичних волокон однією гільзою для захисту, не з'єднувати муфтами трубки в котрих прокладається кабель, використовувати монтажну піну для ізоляції кабельних вводів і т.д.);
- порушити проектні рішення або не виконати їх, тощо.

Такі проблеми обов'язково будуть виявлені вже під час експлуатації, однак на тому етапі для їх виправлення знадобиться набагато більше витрат.

8.2 Прокладання волоконно-оптичних кабелів в ґрунт

ВОК у ґрунті може прокладатись [8.1]:

- безпосередньо у ґрунт;

– у раніш прокладену захисну пластмасову трубку або заздалегідь затягнутим у захисну пластмасову трубку, що дає змогу зменшити механічні навантаження на кабель під час прокладання і підвищує захист його від механічних пошкоджень під час експлуатації.

Прокладання ВОК у ґрунт (крім ВОК міських телефонних мереж), як правило, має проводитись кабелеукладачами. Розробка траншеї для ручного прокладання ВОК допускається лише на ділянках, де неможливе (наявність підземних споруд, утруднені умови, кам'яністі ґрунти тощо) використання кабелеукладачів, а також у випадках, коли використання кабелеукладачів є економічно недоцільним.

На міських телефонних мережах ВОК прокладається, як правило, у каналах кабельної каналізації. У разі відсутності на трасі прокладання ВОК кабельної каналізації проводиться відкопування траншеї з наступним прокладанням у ній кабелю. При цьому в усіх випадках, коли за місцевими умовами є можливість застосувати землерийні механізми, траншеї для прокладання кабелю мають відкопуватись з використанням цих механізмів.

Якщо траса прокладання ВОК пролягає вздовж автомобільної дороги, допускається прокладання ВОК у тілі насипу дороги. При цьому відстань між ВОК та зовнішньою поверхнею дороги має відповідати проектній глибині прокладання кабелю.

Глибина прокладання ВОК визначається у кожному конкретному випадку проектом і не повинна відхилятися від проектної більш ніж на $\pm 0,1$ м.

Звичайна глибина прокладання лінійних кабелів і трубок для задувки кабелів у ґрунтах 1 – 3 груп вибиратися 1,2 м – для оптичних кабелів, що прокладаються на лініях транспортної (первинної) телекомунікаційної мережі.

У разі вимушеного прокладання кабелів на глибині, меншій за визначену, має передбачатися захист кабелів від механічних пошкоджень:

- укладання над кабелем цегли (бетонних плит) на насипну подушку із просіяного ґрунту або піску товщиною 0,1 м;
- прокладання ВОК у захисних пластикових трубках або у пластикових жолобах.

Перед прокладанням ВОК траса має підготовлятися (планування, попереднє пропорування ґрунту, тощо) залежно від рельєфу місцевості, її характеру та груп ґрунту (I – IV). При підготовці траси вона має очищатись від валунів, каменів переміщенням їх убік від траси за допомогою бульдозера.

Прокладання ВОК у відкопану траншею має здійснюватись одним з таких способів:

- безпосередньо з барабана, встановленого у спеціально обладнаному кузові автомобіля або кабельному візку, який рухається по трасі вздовж

траншеї зі швидкістю не більше за 1 км/год. При цьому відстань між краєм траншеї і ближніми колесами автомобіля (візка) має бути більша за глибину траншеї в 1,25 рази. При прокладанні кабель опускається відразу у траншею або на її брівку;

- протягуванням за допомогою каната і лебідки по роliках, установлених на дні траншеї. Кабель, який змотується з барабана, установленого на домкратах, має вільно ковзати по роliках без різких перегинів і тертя об ґрунт. Роliки мають установлюватися через кожні 5 м на прямих ділянках траси, а також на всіх її поворотах;
- з виноскою вручну таким чином, щоб кабель не тягнувся по землі. При цьому на одного робітника має припадати не більше як 35 кг маси кабелю;
- прокладання методом “петлі” – верхній кінець кабелю залишають на початку траншеї біля встановленого на домкрати барабана і розмотують кабель з нього петлею, нижня частина якої укладається в траншею. Цей метод також ефективний при прокладанні кабелю у відкопану траншею за наявності на трасі різних підземних перешкод. У цьому разі петля кабелю пропускається під ними. За кількох перешкод на короткій ділянці траси рекомендується під ними спочатку прокласти захисну пластикову трубку, а потім затягнути в трубку кабель.

Кабель має укладатись посередині дна траншеї зі слабиною і щільно прилягати до її дна. При прокладанні кількох кабелів в одній траншеї їх належить розташовувати паралельно на відстані 50 мм один від одного без перехрещення.



Рисунок 8.4 — Прокладання ОК за допомогою кабелеукладача [8.2].

Для прокладання кабелю безтраншейним способом використовуються ножові причіпні, навісні або спеціалізовані кабелепрокладачі (рисунок 8.4). Для прокладання ВОК кабелепрокладачем має використовуватись кабелеукладальна касета, яка забезпечує при прокладанні

цілісність захисного шлангу та допустимий радіус вигину кабелю.

Під час прокладання, щоб запобігти перевищенню допустимих механічних навантажень на ВОК, необхідно забезпечити:

- контроль зусиль натягу ВОК за допомогою спеціальних пристроїв, якими мають оснащуватися кабелепрокладачі, або, за їх відсутності ,

візуальним наглядом за петлею прогинання між його сходом із барабана та входом у кабелепрокладальну касету;

- примусове обертання кабельного барабана в момент початку руху калепрокладача і синхронне його розмотування за допомогою спеціальних автоматичних чи напіваавтоматичних пристроїв або, за їх відсутності, вручну зусиллями робітників, які працюють на кабелепрокладачі;
- зниження зусиль розтягування на кабель за рахунок застосування спеціальних конструкцій кабепрокладальної касети, щоб зменшити зусилля, які виникають внаслідок тертя ОК у касеті (наприклад, використання в касетах спеціальних роликів напрямних пристроїв);
- виключення випадків засмічення касети і зупинок обертання барабана під час руху кабелепрокладача. Перед початком прокладання кабелю внутрішня поверхня касети має очищатись від виступів і задирок, які можуть пошкодити захисну оболонку кабелю. Під час прокладання ВОК через кожні 5...6 км потрібно оглядати внутрішню частину касети і в міру потреби очищати її.

Процес підготовки та прокладання ВОК з використанням кабелеукладача включає такі основні етапи:

- розшитий барабан встановлюють на кабелепрокладач, верхній кінець кабелю виводять через касету ножа кабелепрокладача і роблять необхідний його запас (від 10 м до 12 м) для монтажу;
- робиться прогин між барабаном і входом у касету ВОК для запобігання пошкодженню кабелю на початковому етапі обертання барабана;
- обслуговуючий персонал під час прокладання має стежити за надходженням кабелю в касету та цілістю його захисної оболонки;
- у місці закінчення будівельної довжини ВОК відкопують котлован, в якому залишається запас прокладеного кабелю довжиною не менше 12 м;
- наступний барабан з кабелем установлюють на кабелеукладач, верхній кінець кабелю пропускають через касету, зробивши необхідний запас для монтажу, і продовжують процес прокладання;
- кінці запасу кабелю у котловані обов'язково герметизують.

Швидкість прокладання ВОК залежить від ґрунтових умов, глибини прокладання, типу кабелепрокладача і становить від 1,2 км/год до 1,5 км/год.

Як зазначалось вище, одним з методів прокладання кабелю в ґрунт є прокладання кабелю у раніш прокладену захисну пластмасову трубку або заздалегідь затягнутим у захисну пластмасову трубку кабелем. Цей метод хоч і дорожчий, чим при простому прокладанні кабелю безпосередньо в ґрунт, але в перспективі може набагато здешевити заміну кабелю, на кабель більшої

ємності, або прокладання додаткового кабелю по паралельній трасі, або продажу/оренді, місця в створеному трубкою каналі.

Особливо актуальним є використання прокладання кабелю в трубці, на виході з великих міст, в зоні забудови, тощо.

Під час прокладання кабелю в пластмасових трубках варто обирати кабелі без броні та без використання металу в багатьох інших елементах конструкції кабелю (наприклад в центральному силовому елементі, тощо), однак при цьому обов'язково варто подбати про те як при експлуатації доведеться визначати точне місце залягання кабелю і за допомогою яких приладів це робити.

Кількість трубок та діаметр⁶ трубки визначають на етапі розробки проекту

Причому над трубками, які прокладаються в ґрунті, на півглибини траншеї, повинна укладатися попереджувальна (сигнальна) стрічка з написом державною мовою про закладений знизу об'єкт. Вимоги до нанесеної інформації на стрічці повинні визначатися на стадії розробки проекту.

Кабельні муфти та запас оптичного кабелю мають розміщуватися в контейнерах (камерах) чи оглядових пристроях (колодязях).

При проектуванні, норми потрібної кількості кабелю на 1 км траси, відповідно до ГБН В.2.2-34620942-002:2015, враховуючи запас кабелю на нерівність місцевості, викладення кабелю в котлованах, оглядових пристроях, а також підготовку кінців кабелю для проведення електричних вимірювань і зрощування будівельних довжин визначають наступним чином (таблиця 8.1).

Таблиця 8.1 — Норми витрат оптичного кабелю на 1 км траси.

Місце прокладання кабелю	Витрати кабелю на 1 км траси, км
Оптичний кабель зв'язку	
У ґрунті	1,024
У кабельній каналізації електрозв'язку	1,057
У тунелі (колекторі)	1,01
Через водні перешкоди	Визначається проектом
Підвішування на опорах повітряних ліній	1,025
Примітка 1. Необхідність передбачення технологічних запасів кабелів, що прокладаються по мостах, у тунелях, метрополітені, колекторах визначається проектом.	
Примітка 2. Для монтажу муфт на ОК, що прокладаються у ґрунті та тунелі (колекторі), слід залишати технологічний запас кабелю в розмірі 10 м з кожного кінця будівельної довжини	

8.3 Прокладання волоконно-оптичних кабелів в кабельній каналізації

⁶ При цьому зовнішній діаметр кабелю обов'язково має бути меншим внутрішнього діаметру трубки (приблизно в два рази).

Кабельна каналізація електрозв'язку – обладнання та споруди, призначені для прокладання, монтажу та експлуатаційного обслуговування кабелів телекомунікацій, що включають трубопроводи (канали кабельної каналізації), закладні та оглядові пристрої в колодязях, кабельних шафах, шахтах, колекторах, мостах, естакадах, тунелях, будівлях, а також приміщення для вводу кабелів і розміщення лінійного обладнання.

Кабельний ввід – частина лінійно-кабельних споруд, що розміщена на ділянці від ввідного оглядового пристрою кабельної каналізації електрозв'язку або ввідної опори повітряної лінії зв'язку до кінцевих кабельних пристроїв у будинку.

Лінійно-кабельні споруди телекомунікацій – комплекс технічних засобів, що створює спрямоване середовище з використанням кабелів телекомунікацій, у жилах або волокнах яких утворюється фізичний ланцюг, призначений для передавання електричних або оптичних сигналів електрозв'язку

Для прокладання ВОК, по змозі, мають використовуватись канали, розташовані всередині блока кабельної каналізації (по вертикалі) і біля його краю (по горизонталі).

Процес прокладання ВОК у канали кабельної каналізації складається з підготовчих (підготовка каналів та оглядових пристроїв до прокладання кабелю) та прокладальних робіт [8.1].

Прокладання ВОК по зайнятим каналам має виконуватись в захисних поліетиленових трубках (ЗПТ), заздалегідь прокладених у цих каналах. Застосування ЗПТ створює умови для прокладання ВОК великої довжини, а також забезпечує захист кабелю від можливих пошкоджень при заготовці каналу для прокладання інших кабелів (особливо з металевими зовнішніми покриттями), при докладанні важких масивних кабелів, при витягуванні вже прокладених кабелів.

Прокладання ВОК із захисними металевими броньовим покриттям по каналам кабельної каналізації виконується без його зтягування в ЗПТ за умови, що в цих каналах не буде надалі докладання інших кабелів зв'язку з металевими провідниками, а будуть лише оптичні, у кількості не більше п'яти – шести.

Процес прокладання ВОК у канали кабельної каналізації складається з підготовчих (підготування каналів та оглядових пристроїв до прокладання кабелю, заготівля каналів тощо) та прокладальних робіт.

На підготовчій стадії процесу прокладання ВОК належить орієнтовно оцінити механічні навантаження, що діють на кабель під час його прокладання. На основі оцінки належить вибрати той чи інший спосіб прокладання ВОК у

канали кабельної каналізації, а також кількість працівників та машин, механізмів та пристосувань для його здійснення.

У разі механізованого прокладання ВОК рекомендується застосовувати машини та механізми, обладнані обмежувачами тягових зусиль, які захищають кабель від дії наднормативних навантажень розтягування.

Прокладання ВОК в кабельній каналізації може виконуватись як вручну, так і механізованим способом з використанням комплекту пристосувань для прокладання ВОК. Перед прокладанням ВОК необхідно встановити такі пристосування з комплекту:

- напрямну гнучку трубку для вводу кабелю в канал кабельної каналізації через люк колодязя;
- напрямні лійки на вході та виході каналу кабельної каналізації чи ЗПТ, затягнутої в канал кабельної каналізації;
- поворотні блоки в кутових колодязях;
- комплект люкоогинаючих роликів для спрямування проходження заготовчого прутка, дроту чи тягового тросу (канату) та кабелю через люк останнього колодязя.



Рисунок 8.5 — Компенсатор обертання (а) та кабельна панчоха (б)

Приєднання ВОК до тягового елемента має здійснюватись обов'язково за допомогою наконечника з кабельною панchoхою (рисунок 8.5) для затягування ВОК за ЦСЕ і поліетиленову оболонку, через компенсатор обертання, який

виключає передачу обертальних зусиль на кабель. Конструкція такого наконечника забезпечує надійне закріплення всіх конструктивних елементів ВОК, крім ОВ, які залишаються вільними.

Для зменшення опору тертя під час затягування ОК у ЗПТ рекомендується нанести на ВОК лубрикант. Застосування для змащення ЗПТ вазеліну або інших технічних масел не бажане.

Прокладання ВОК вручну (рисунок 8.6) здійснюється, як правило, при затягуванні в канал кабельної каналізації невеликої довжини кабелю. Кінець ВОК за допомогою наконечника для затягування через компенсатор обертання приєднується до кінця тягового елемента (прутка, дроту, тощо), яким заздалегідь був оснащений канал кабельної каналізації. При витягуванні тягового елемента з каналу відбувається затягування в нього ВОК. При цьому потрібно уважно стежити за проходженням кабелю через проміжні оглядові пристрої (рисунок 8.7).

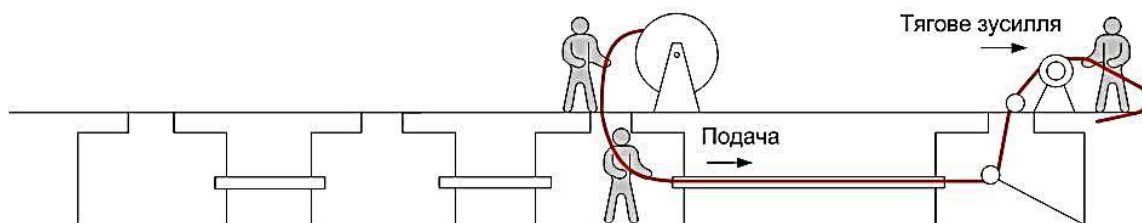


Рисунок 8.6 — Ручне прокладання ВОК в каналах кабельної каналізації [8.3].

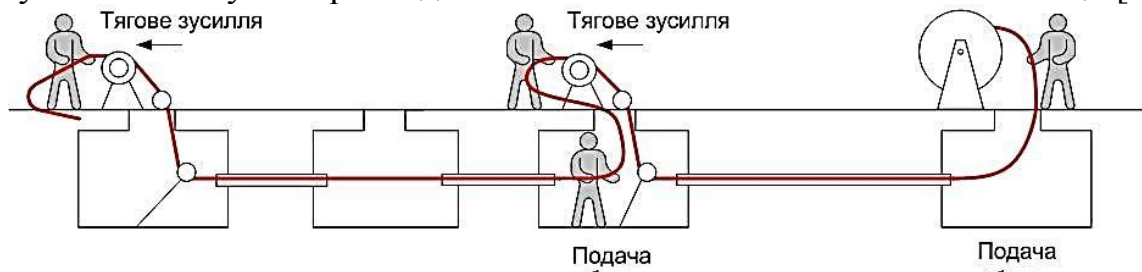


Рисунок 8.7 — Прокладання ВОК через проміжні оглядові пристрої [8.3].

Прокладання будівельних довжин кабелю довжиною 2000 м і більше (рисунок 8.8) вручну, має проводитись у двох напрямках і лише в ЗПТ. Барабан з кабелем на трасі встановлюють на домкратах біля оглядового пристрою, розташованого приблизно на середині довжини кабелю, намотаного на барабані, з урахуванням умов проходження траси (прямолінійність, довжина прольотів). Спочатку першу частину ВОК затягують в один бік безпосередньо з барабана. Почавши з останнього оглядового пристрою, проводять викладку кабелю по формі колодязів траси і водночас підтягують запас із барабана. Залишок кабелю на барабані змотують з нього і викладають у формі “вісімки”, а потім затягують його вручну в інший бік.

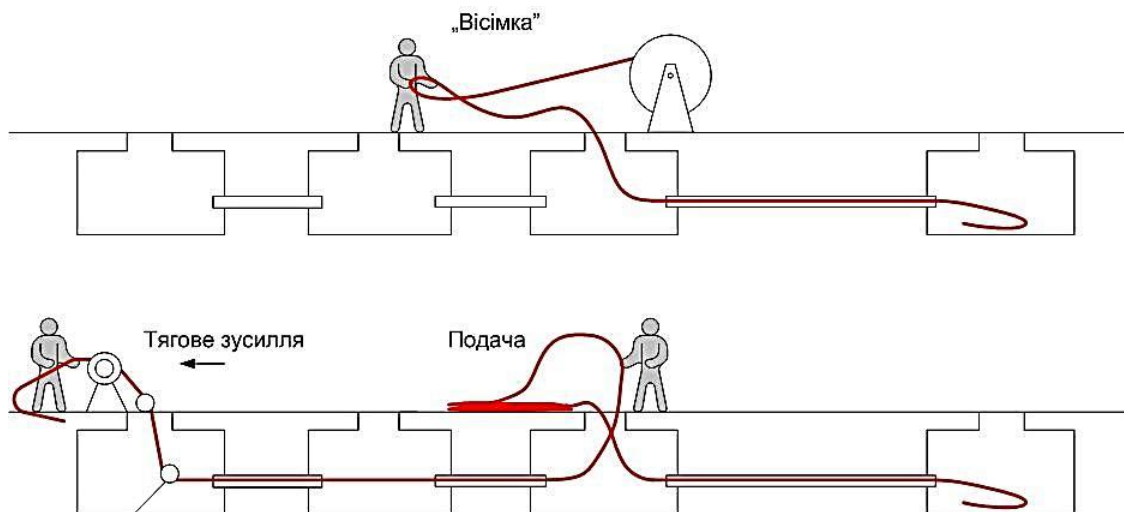


Рисунок 8.8 — Прокладання великих будівельних довжин ВОК [8.3].

Прокладання ВОК в кабельній каналізації механізованим способом (рисунок 8.9) здійснюється, в основному, за допомогою кабельних машин, лебідок з ручним чи електричним приводом. До тягового тросу, який заздалегідь прокладений в ЗПТ, за допомогою наконечника для затягування через компенсатор обертання приєднується кінець ВОК. При намотуванні

тягового канату (тросу) на барабан лебідки здійснюється затягування кабелю в ЗПТ.

Після прокладання ВОК, якщо воно здійснювалось за допомогою тягових елементів, кінець кабелю біля наконечника для затягування одрізається і герметизується за допомогою пластикових ковпачків.

В транзитних оглядових пристроях ВОК викладається за їх формою і укладається на консолі відповідного ряду в рівчаках, найближчих до кронштейна, та закріплюється перев'язуванням. При цьому кабель, який викладається в оглядовому пристрої, не повинен перехрещуватись з іншими кабелями, які йдуть у тому самому горизонтальному ряді, і закривати собою отвори каналів, що лежать в одній з ним горизонтальній площині. Спускання (підняття) кабелю між кронштейнами на боковій стінці, як правило, не допускається.

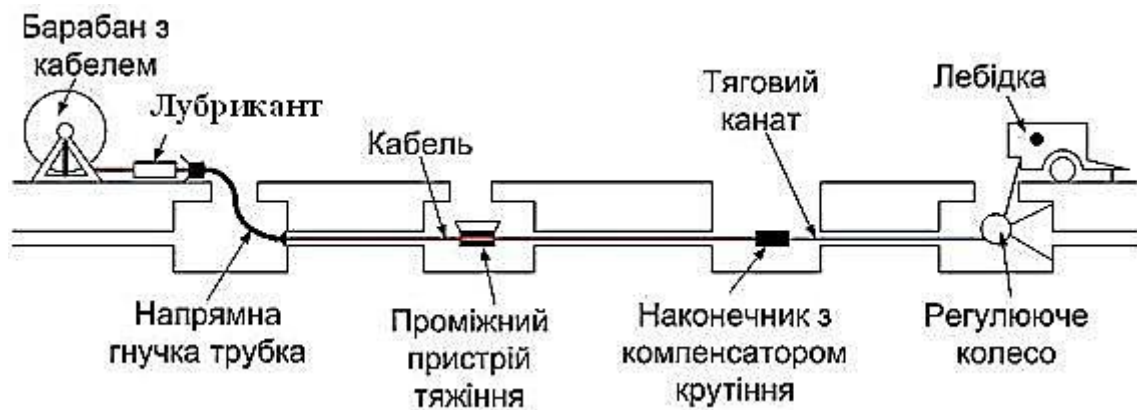


Рисунок 8.9 — Механізоване прокладання ВОК в каналах кабельної каналізації [8.2].

Запас ВОК, який залишається для монтажу муфти, скручується кільцями з радіусом, не меншим від допустимого для даного типу кабелю і підвішується на консолях оглядової пристрою.

Після цього здійснюється фарбування невеликої довжини ВОК, (приблизно 200 мм) на виході із ЗПТ фарбою жовтого кольору.

Варто зауважити, що структура мережі доступу, побудована за реалізацією концепцій FTTx, потребує монтажу значної кількості оптичних муфт, що зменшує витрати з прокладання кабелю для підключення нових клієнтів.

Монтаж оптичних муфт (котрі самі по собі є досить габаритними) потребує також:

- створення технологічного запасу ВОК (8 метрів запасу ВОК від горловини люку оглядової пристрою) на кожен кабель, котрий вводиться в оптичну муфту;
- кріплення муфти і бухти ВОК потрібно розміщувати між стінкою колодязя та кабелями, які розташовані на перших місцях консолей для

ряду, де затягнутий ВОК, а самі бухти технологічного запасу скручують з радіусом не менше мінімально допустимого радіусу згину кабелю.

Це все призводить до того, що об'єм оглядового пристрою може бути заповнений оптичними муфтами та бухтами ВОК технологічного запасу.

При цьому діюча нормативна документація не регламентує розміщення муфт на оптичний кабель (лише за згодою власника кабельної каналізації електрозв'язку (ККЕ)) в оглядових пристроях ККЕ, адже бурхливий розвиток оптичних мереж доступу з концепцією FTTx відбувається лише в останнє десятиріччя. Переважна більшість ККЕ будувалась в період до початку застосування в Україні оптичних кабелів зв'язку, відповідно до старих норм та правил на її проектування, котрі розроблялись під потреби будівництва мереж на металевих кабелях, що не потребують розміщення габаритних муфт та технологічних запасів кабелю.

З усіх існуючих на ККЕ оглядових пристроїв (ККЗ-1, ККЗ-2, ККЗ-3, ККЗ-4, ККЗ-5, ККЗС-1, ККЗС-2, ККЗ-5М) лише оглядові пристрої ККЗ-4 та ККЗ-5м допускали можливість розміщення в них, окрім муфт на металеві кабелі, також контейнерів НРП (для систем типу ІКМ), габаритні розміри котрих можна порівняти по габаритним розмірам з майже всіма типами оптичних муфт.

Оглядові ж пристрої типу ККЗ-1 взагалі не придатні для розміщення оптичних муфт, оскільки в них не можливо забезпечити достатній мінімальний радіус згину технологічного запасу ВОК для монтажу оптичних муфт).

Отже, при плануванні будівництва та розвитку оптичних мереж доступу FTTx, слід уважно підходити до питання планування мережі, та передбачати можливість розміщення муфт в окремих (спеціально для них збудованих) оглядових пристроях або в наземних вуличних антивандальних шафах.

На випадок встановлення додаткових муфт, що особливо важливо для мереж доступу з концепцією FTTx, при проектному розрахунку потреби в монтажних комплектах, слід передбачати запас монтажних комплектів у 10% від запроектованої потреби.

При розміщенні муфт на оптичний кабель в оглядових пристроях ККЕ (колодцях ККЕ) слід брати до уваги габаритні розміри оглядових пристроїв (таблиця 8.2).

Таблиця 8.2 — Основні розміри основних оглядових пристроїв (кабельних колодців зв'язку) та максимальна ємність блока, що вводиться в оглядовий пристрій.

Тип колодця	Розміри, см			Максимальна ємність блока
	довжина	ширина	висота	
ККЗ-1	900	800	530	1
ККЗ-2	1350	1060	1570	2
ККЗ-3	1950	1160	1800	6
ККЗ-4	2390	1300	2000	12
ККЗ-5	2990	1600	2000	24
ККЗС-1	3950	2100	2160	36
ККЗС-2	5760	2100	2160	48
ККЗ-5М	2990	1600	2030	для НРП

При прокладанні ВОК в ККЕ, також слід брати до уваги такий параметр зайнятості каналів ККЕ як коефіцієнт завантаженості каналу (K_3) кабельної каналізації електрозв'язку, який враховує площу зайняття кабелю в каналі кабельної каналізації і визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{S_{\kappa\alpha\delta}}{N_3 S_{\kappa\alpha\kappa}}, \quad (8.1)$$

де $S_{\kappa\alpha\delta}$ — площа поперечного перетину кабелю, який прокладається в каналі ККЕ;

N_3 — норма завантаженості каналу ККЕ;

$S_{\kappa\alpha\kappa}$ — площа поперечного перетину каналу ККЕ.

Відповідні площі розраховуються за формулами:

$$S_{\kappa\alpha\delta} = \pi R_{\kappa\alpha\delta}^2, \quad (8.2)$$

$$S_{\kappa\alpha\kappa} = \pi R_{\kappa\alpha\kappa}^2, \quad (8.3)$$

де $R_{\kappa\alpha\delta}$ — радіус поперечного перетину кабелю, що прокладається в каналі ККЕ;

$R_{\kappa\alpha\kappa}$ — радіус поперечного перетину каналу ККЕ.

Тоді, вираз (8.1) з урахуванням (8.2), (8.3) приймає вигляд:

$$K_3 = \frac{R_{\kappa\alpha\delta}^2}{N_3 R_{\kappa\alpha\kappa}^2}. \quad (8.4)$$

При прокладанні кабелів в каналах кабельної каналізації, трубках та лінійних вводах в будинки, контейнери та інші лінійні та станційні споруди, виникає потреба в захисті місця вводу кабелів від потрапляння до приміщень та лінійних споруд: вологи, газу, диму та вогню.

При цьому потрібно взяти до уваги кілька моментів. Наприклад поки що переважна більшість наявної ККЕ у містах та містечках, побудована з азбоцементних труб та оглядових пристроїв з залізобетону та цегли. І оскільки

азбоцементні труби та місця їх з'єднання, що утворюють канали кабельної каналізації електрозв'язку (ККЕ), неспроможні якісно захистити канал від потрапляння в нього вологи, то і сама ККЕ проектується відповідним чином: облаштовуються водовідвідні дренажі, гідроізоляція, канали будуються з розрахунку забезпечення стікання води⁷, у випадку її появи, в оглядовий пристрій (щоб кабель в самому каналі ККЕ залишався сухим), сам оглядовий пристрій в конструкції своєї нижньої частини має невеликий приямок для збору води з тим розрахунком щоб експлуатуюча організація проводила її викачування.

Нормативна документація зв'язку регламентує обов'язкове закриття вільних каналів, КНД-45-141-99: для захисту від забруднення внутрішніх порожнин прокладених кабелепроводів їх кінцеві отвори необхідно щільно закривати пробками, а при перервах у прокладанні кабелі проводів усі канали мають бути також закриті пробками в місцях де закінчено роботу.

Аналогічно і в ККЕ із застосуванням пластикових труб та оглядових пристроїв нормативний документ Р 45-016:2007 рекомендує використовувати заглушки (розрізні і нерозрізні) на вільні і зайняті канали.

Щоправда наведені в Р 45-016:2007 пристрої мають певний недолік, оскільки заглушка має фіксовану кількість вводів, то у випадку якщо кількість кабелів менша за кількість вводів Р 45-016:2007 рекомендує закривати їх просто відрізками кабелю відповідного діаметру завдовжки 250 мм з герметично затуленими кінцями.

Ще більших вимог має бути виконано стосовно герметизації на лінійних водах в контейнери з обладнанням та у виробничі або житлові приміщення.

В цих випадках особливо важливими стають такі чинники як герметичний захист вводу від води, газів, вогню та продуктів горіння.

При цьому для забезпечення пожежного захисту при облаштуванні кабельних вводів потрібно приділяти увагу:

1. Швидкому розповсюдженню полум'я та вогню.
2. Захисту від розповсюдження таких складових пожежі як сірчистий газ, угарний газ, вуглекислий газ, сажа та водяні пари.
3. Захисту від появи корозійних газів (наприклад при згорянні ПВХ кабельних оболонок виділяється хлорний газ котрий при взаємодії з водою

⁷ На місцевості, що має природний ухил, блок кабельної каналізації має прокладатися з однаковим заглибленням по всій довжині, за винятком десятиметрових ділянок на підходах до кабельних колодязів, де розмір ухилу має забезпечувати введення труб у колодязі на глибину не менше ніж 0,7 м від поверхні землі. На місцевості, яка не має природного ухилу, трубопровід має прокладатися з ухилом у бік одного з колодязів або з ухилом до обох колодязів від середини прогону. Норма ухилу 3 - 4 мм на метр довжини прогону

утворює соляну кислоту котра в подальшому руйнує металеві складові залізобетону та навколишню металеву арматуру і конструкції).

Загалом ринок пропонує кілька підходів для вирішення проблеми захисту лінійних ввідів та герметизації з використанням проходок⁸:

- збірні проходки;
- бандажні проходки;
- суцільні проходки;
- проходки з термоусадкою.
- проходки заглушки;
- проходки подушки;

Проходка має містити маркувальну бирку, на котрій мусить бути зазначено:

- про назви та контактні телефони організацій котрі встановили проходку та котрій належить проходка;
- про клас проходки;
- про дату монтажу.

Простим і ефективним прикладом збірної проходки є проходки, котрі пропонується компанією Roxtec (рисунок 8.10)



Рисунок 8.10 — Збірні кабельні проходки компанії Roxtec.

Інший варіант збірних проходок, це проходки зі збірних блоків та плит.

При цьому застосовуються проходки з вогнестійких плит з мінеральних волокон з нанесенням вогнестійкого покриття або піноблоків блоків, з різною конфігурацією виготовлення, варіанти котрих показано на рисунку 8.11.

Шпарини в таких проходках також заповнюються відповідним герметиком. Під дією високої температури матеріал вогнетривкого покриття

⁸ Кабельна проходка — виріб або збірна будівельна конструкція, яка встановлюється на виході кабельного каналу і складається з ущільнювальних матеріалів, кабельних виробів та закладних деталей (труб, коробів, лотків тощо) і призначена для проходку кабелів (кабельних ліній) через стіни, перегородки, перекриття.

спучується і стає надійною перепорою для вогню, а матеріал плити створює добру теплоізоляцію.

Очевидною перевагою таких проходок є можливість закривати значні площі проходів та не залежати від форми проходу та труб і кабелів, котрі вводяться, а також від їх кількості і форми. Адже піно блоки можна нарізати надаючи їм будь яку форму максимально наближену до форми отвору.

Недоліком є певна складність вводу додаткових кабелів, хоча виробниками заявляється протилежне.



Рисунок 8.11 — Збірні проходки з блоків та плит.

При використанні бондажних кабельних проходок, кабель, або жмут кабелів обмотуються бондажною стрічкою зі спеціального матеріалу.

Нанесений бондаж переміщують у середину кабельного проходу. Отвори та щілини між бондажем, кабелем (жмутом кабелів) та шари бондажної стрічки закриваються спеціальним будівельним герметиком (рисунок 8.12).

Подібна бондажна проходка доволі просто наноситься і добре захищає кабельний прохід. Але очевидним недоліком є додавання додаткового кабелю, для чого доведеться повністю розбирати бондаж і проводити процедуру бондажування з герметизацією наново.



Рисунок 8.12 — Приклад улаштування бондажної проходки.

При облаштуванні універсальних розчинних проходок (рисунок 8.13) формується суцільна проходка, перевагою котрої є незалежність від конфігурації кабельного вводу, його розмірів та кабелів і труб котрі введені.

Але в даному випадку знадобиться пробійний механізм, для введення наступних кабелів, після того як проходку вже змонтовано, що є очевидним недоліком (складність введення наступних кабелів).

Також певною складністю монтажу проходок котрі використовують герметики є необхідність дотримання певного температурного режиму для застосування герметиків, як для їх зберігання і температури застосування так і для розігріву під час монтажу.



Рисунок 8.13 — Приклад улаштування універсальної розчинної проходки.

При облаштуванні кабельних термоусаджувальних проходок (рисунок 8.14) виникає надійний захист вводи від вологи та газів.

Фактично аналогічним принципом герметизують входи в більшість кабельних муфт та ввід кабельних труб в пластикові колодці.

Додати в таким чином закритий ввід ще один кабель буде надто проблематично навіть за наявності інструменту зі зняття оболонок. Також для монтажу такої проходки знадобиться газова горілка або відповідний фен.



Рисунок 8.14 — Приклад облаштуванні термоусаджувальних проходок.

Принцип використання проходок зі спеціальними кабельними заглушками, мембранами (рисунок 8.15) застосовується в декотрих типах

кабельних муфт. Такий тип проходок описано в згаданому вище нормативному документі: Р 45-016:2007.

Такі проходки забезпечують надійну герметизацію а деякі типи і пожежний захист. Їх застосування не потребує додаткових інструментів. Однак на відміну від кабельних муфт в такого типу проходках існує зазор між проходкою та трубою лінійного вводу для закриття котрого потрібно застосовувати герметик. А в загазованих районах потрібно особливо уважно видалити весь бруд і навіть намастити стики технічним вазеліном.

Недоліком є складність додавання кабелю якщо в лінійному вводі всі наявні порти проходки вже зайняті. Також є обмеження на розміри (мінімальний і максимальний для кабелів що вводитимуться. До недоліків можна віднести і необхідність встановлення обрізки кабелю (з герметизацією його кінців) для встановлення у вільні, незадіяні порти такої проходки. Не всі такі проходки можуть бути застосовані для встановлення на вже існуючих кабелях.



Рисунок 8.15 — Приклад облаштуванні проходок зі спеціальними кабельними заглушками, мембранами.

Цікавим рішенням захисту кабельних входів є застосування кабельних проходок з використанням подушок (рисунок 8.16). Подушки можуть бути як надувними так і не надувними.

Така проходка достатньо легко монтується, достатньо легко можна додати наступні кабелі. Також для закриття кабельного вводу такими проходками підходять вводи будь яких розмірів та конфігурацій.

Такі проходки надійно захищають від проникнення води вогню та газів, причому така проходка може застосовуватись навіть під час витікання води з каналу, що є певною перевагою на відміну від наведених вище проходок де потрібно застосовувати герметик для закриття швів чи країв проходки і каналу і якому відповідно потрібен декотрий час на висихання. Матеріал проходки має бути стійкий до зовнішніх впливів навколишнього середовища.



а) б)
Рисунок 8.15 — Приклад облаштуванні проходок з використанням подушок
а) – надувних та б) – не надувних.

8.4 Прокладання волоконно-оптичних кабелів в ґрунт з використанням ЗПТ

Прокладання ВОК в ЗПТ є досить ефективним у випадках, коли на трасі присутні чисельні перешкоди, а також у ґрунтах з твердими включеннями, в місцях з високою грозодіяльністю та сильним електромагнітним впливом [8.4]. Крім того ЗПТ є досить ефективним захистом від гризунів. Тому використання ЗПТ дозволяє прокласти повністю діелектричні кабелі.

Однак прокладання повністю діелектричних кабелів в ґрунт, на практиці спричинює складнощі при експлуатації, адже при відсутності металевих елементів в ЗПТ та кабелі, виникають проблеми у визначенні його місця залягання.

ЗПТ виготовляються з поліетилену високої щільності (низького тиску) і мають діаметр від 25 мм до 63 мм та товщину стінок 3 – 5 мм. Антифрикційне покриття на внутрішній поверхні ЗПТ забезпечує зниження коефіцієнта тертя приблизно в два рази в порівнянні з поверхнею із звичайних композицій ПЕ. Прокладка ЗПТ проходить за звичайною технологією прокладки кабелів зв'язку (кабелеукладачами, в траншею, затягуванням в канали існуючої кабельної каналізації). Можливе одночасне прокладання кількох захисних трубок. В захисній трубці кабель може прокладатись:

- затягуванням за допомогою лебідки та тягового канату;
- методом задування;
- методом сплаву.

Прокладка ВОК в кабельній каналізації здійснюється переважно методом затягування вручну або із застосуванням лебідок (рисунок 8.16).

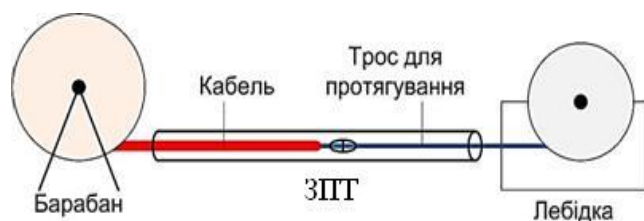


Рисунок 8.16 — Протягування кабелю за допомогою лебідки та тросу [7.5].

Перед операцією затягування здійснюється процес підготовки каналів шляхом введення тросу чи склопластикового прутка з наступним ручним затягуванням ВОК. Перед затягуванням ВОК на нього вдівають кабельний кінцевий

пристрій або кабельну панчоху. Кабельні панчохи підвищеної гнучкості для ВОК виготовляються переважно із канатів з пластмасовим покриттям.

Для зменшення тягового зусилля барабан з ВОК розміщують в місцях поворотів траси. При довжині ВОК більше 1 км, кабельний барабан розміщують в середині ділянки траси, при цьому одна половина довжини ВОК прокладається в одному напрямку траси, інша - в протилежному. Щоб ввести ВОК в оглядові пристрої кабельної каналізації використовують напрямні пристрої та спеціальні ролики, що запобігають пошкодженню ВОК на ділянках згину і знижують коефіцієнт тертя. Тяговий трос кріплять до ВОК за допомогою компенсатора кручення. Швидкість затягування ВОК з використанням лебідок, що оснащуються пристроями контролю тягового зусилля, регулюється в діапазоні до 30 м/хв. У кінцевих оглядових пристроях залишають технологічний запас довжини ВОК, необхідний для подальшого монтажу муфт. Місце входу ВОК в оглядовий пристрій з каналу кабельної каналізації герметизують.

Необхідність прокладання в ККЕ кабелю в ЗПТ повинно обґрунтовуватись конкретним проектом, оскільки трубка займатиме додаткове місце в каналах ККЕ.

8.4.1 Прокладання ВОК методом задування

Подібна технологія прокладання ВОК застосовується як на магістральних мережах так і на мережах доступу, зокрема в частині розбудови будинкової розподільної мережі.

Будинкова розподільна мережа (БРМ) – частина телекомунікаційної мережі доступу між кабельним вводом будинку та пунктами закінчення телекомунікаційної мережі, що призначена для забезпечення телекомунікаційними послугами споживачів в окремих приміщеннях (квартирах) будинку, в тому числі доступу до Інтернет

На магістральних мережах, як правило, задування здійснюється за допомогою обладнання пневмопрокладання волоконно-оптичного кабелю зв'язку в ЗПТ. На відміну від магістральних мереж на мережах доступу важко завчасно визначити та передбачити наперед потребу в кількості оптичного волокна у

ВОК і навіть сам тип оптичного волокна, що може спричинити потребу в його заміні, а також потребу в зміні та нарощуванні топології мережі.

На мережах доступу технологія задування ВОК дає наступні переваги:

- збільшує гнучкість системи організації доступу до послуг зв'язку (адже доступ до послуг зв'язку організовується шляхом створення точок доступу – точок підключення абонентів до мережі); організація такого доступу в приміщеннях методом пневмопрокладання (“задування”) 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 мережах з технологією PON, дозволяє досить швидко здійснити інсталяцію мережі (причому відстань на котру можна “задути” ОВ, залежить від кількості ОВ, ширини трубки, тиску повітря, що створює машина для пневмопрокладання, габаритів та матеріалу заготовки кабелю, тощо). На ділянках мережі доступу поза приміщенням 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 кілька методів доведення волокна до точки доступу на мережах побудованих з концепцією FTTH за допомогою методу пневмопрокладання:

- прокладання в каналах кабельної каналізації заготовки кабелю – кабелю з порожніми оптичними модулями для наступної інсталяції в них оптичних волокон (такі заготовки кабелю можна прокладати також і безпосередньо в ґрунт, в кабельних шахтах і кабельростах). 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 якого потім підключається компресорний пристрій. Повітряний потік просуває оптичне волокно на потрібну довжину, до кінцевої точки (дальність задувки може сягати 1000 м). Це дозволяє уникнути з'єднань волокон (крім під'єднання волокна до з'єднувача на проміжних ділянках) і мінімізувати втрати на з'єднаннях, що збільшує надійність та якість роботи системи;

- замість одно волоконного ОК можна задувати в оптичні модулі спеціальні багатоволоконні мікрокабелі (подібні мікрокабелі можуть містити на сьогодні до 18 оптичних волокон, причому в заготовку кабелю можна інстальювати до 19 мікрокабелів);
- прокладка поліетиленового каналу, котрий містить мікроканали (microducts) діаметром 5 або 8 мм. В ці мікроканали в подальшому (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, котрі підключені до інших волокон.
- Обладнання для пневмопрокладання та муфта, де видно з'єднання волокон, трубки і кабелі показано на рисунку 8.17.



Рисунок 8.17 — Приклад обладнання пневмопрокладання та муфта для з'єднання ОК [8.5]/

Прокладання ВОК методом задування [8.6] базується на створенні постійного примусового повітряного потоку великої швидкості в каналі. Сила переміщення повітря штовхає кабель вперед зі швидкістю, що підтримується спеціальним обладнанням. Прокладання кабелів методом задування знижує ризик пошкодження ВОК через перенавантаження, оскільки прикладені зусилля на порядок нижчі зусиль, що прикладаються до ВОК в інших методах прокладання (рисунок 8.18).

Додатково, при прокладанні за допомогою повітря, відхилення в прольоті кабельного каналу від прямої лінії, не викликає особливої турботи у порівнянні з методами затягування. Таким чином, швидкість прокладання зростає і при цьому можуть бути прокладені більші довжини кабелю. Кабель прокладається з незначним натягом і по завершенні прокладання залишається послабленим у кабельному каналі. Існує кілька варіантів інсталяції: без поршня на передньому кінці кабелю, або з поршнем – “парашутом”. Для варіантів без поршня відсутня

тягова сила на передньому кінці кабелю: повітряний потік створює тягову силу уздовж всього кабелю.

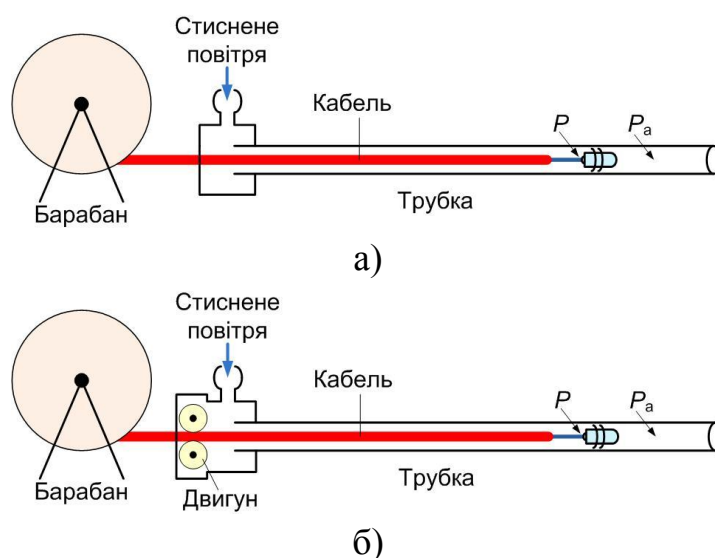


Рисунок 8.18 — Протягування ВОК методом вдування за допомогою поршня (а) та поршня і механічної подачі (б) [8.6].

При використанні поршня на передньому кінці кабелю, сила тяги від поршня передається кабелю. В цьому випадку не повинно перевищуватись максимальне тягове зусилля, яке залежить від конструкції кабелю.

За потреби, для зменшення, тертя можуть використовуватись відповідні лубриканти, що є важливим чинником для досягнення оптимальних режимів прокладання.

Оскільки максимальна довжина прокладання залежить від числа згинів, їх розташування на маршруті, їх форми, слід уникати різких змін напрямку прокладання траси. Зазвичай, більш прямолінійна траса кабельної каналізації дозволяє збільшити довжину кабелю, що прокладається.

Повітряний потік великої швидкості, який переміщує кабель в кабельному каналі, утворюється компресором. Максимальний тиск компресора залежить від виду обладнання, що використовується. Швидкість потоку на виході компресора залежить від виду обладнання та від внутрішнього діаметра кабельного каналу.

Зазвичай найменший діаметр кабельного каналу, найнижча швидкість повітряного потоку, а також мінімальна прокладена довжина визначаються конструкцією кабелю.

Температура стислого повітря значно впливає на відповідні параметри. При високих температурах матеріал, що використовується в захисному покритті кабелю і кабельному каналі, починає пом'якшуватись. Це збільшує тертя між кабелем і кабельним каналом, викликаючи погіршення роботи системи. При температурі довкілля понад 30°C, рекомендується

використовувати охолоджувач повітря, який встановлюється між компресором і системою вдування.

Машина вводу кабелю має механічний пристрій, який передає тягове зусилля кабелю і контролює швидкість його вводу в кабельний канал. Пристрій може керуватись повітряним або гідравлічним двигуном, з ручною або автоматичною системою запуску і зупинки. В машині може штовхач кабелю з гусеничним направляючим поясом та штовхач з направляючим колесом.

Вибір методу вводу ВОК у ЗПТ залежить від кількох чинників: типу кабелю (діаметр, маса, жорсткість), діаметру кабельного каналу, характеристик траси маршруту (число згинів, розташування згинів, величина ухилу і підйому) та обладнання, яке використовується.

При методі прокладання з поршнем до переднього кінця кабелю приєднується поршень. Він передає кабелю тягове зусилля, яке повинне бути меншим дозволеного розтягуючого зусилля. Поршень передає кабелю лише частину максимального тягового зусилля. Щоб уникнути можливості гальмування на некруглих ділянках каналу, поршень повинен бути оснащений чимось на зразок гнучких еластичних манжеток. Також на передньому кінці кабелю можна використовувати поршень меншого діаметра, ніж внутрішній діаметр кабельного каналу. Таким поршнем може служити відкритий човник, який пропускає повітряний потік через отвір в його центрі. В даному випадку, рівень повітряного потоку може перевищувати допустиме розтягуюче зусилля кабелю.

При методі прокладання без поршня, кабель прокладається в кабельному каналі без тягового зусилля за допомогою потужного і швидкого повітряного потоку, розподіленого по всій довжині кабелю. Повітряна течія через кабельний канал передає певний поштовх кабельній оболонці – зусилля, що викликане тертям між частками повітря та кабельною оболонкою. Достатній для прокладання потік повітря забезпечує потужний компресор (близько 15 атм).

Перед прокладанням кабелю, слід:

- при плануванні маршруту, визначити найкращі місця, для розміщення машини задування з тим, щоб досягти оптимального режиму прокладання кабелю; цей метод прокладання дозволяє використовувати декілька машин задування, що послідовно розміщені в різних точках маршруту; це забезпечує прокладання як можна більших довжин кабелю або вирішує проблеми складності маршруту; при використанні лише однієї машини задування, в залежності від характеристик маршруту, типу кабелю, типу ЗПТ і машини, що використовуються, можна прокласти до 4 км кабелю;

-
- перевірити безперервність і цілісність ЗПТ, щоб уникнути втрат повітряного тиску, які можуть обмежувати роботу системи;
 - відновити` цілісність ЗПТ в точках її обривів;
 - перевірити ЗПТ з середини у напрямку прокладання, для того, щоб переконатися у відсутності всередині ЗПТ води, пилу, піску або навіть каменців. У такій самий спосіб потрібно перевірити⁹ відсутність будь-якого сплющування ЗПТ на трасі.

Найчастіше в ЗПТ вводять лубрикант. Для рівномірного розповсюдження лубриканту вздовж ЗПТ, може використовуватись губка, яка попередньо проштовхується повітряним потоком. В деяких випадках лубрикант подається в ЗПТ протягом всієї процедури прокладання кабелю.

Перед заправкою в машину вводу слід очистити кабель.

Протягом всього процесу задування ВОКу ЗПТ слід постійно контролювати:

- змотування кабельної котушки;
- роботу машини задування;
- ввід кабелю в машину і отримання кабелю на дальньому кінці.

За потреби, кабель може прокладатись з проміжної точки. В такому випадку, відразу після прокладання першої частини кабелю, потрібно частину кабелю, що залишається викласти «вісімкою» або заштовхати її в трубку за допомогою включеної машини задування.

Максимальний тиск, який може витримувати ЗПТ, не повинен перевищуватись.

При використанні методу прокладання без поршня, легкий направляючий пристрій повинен бути змонтований на кабельній оболонці, щоб полегшити рух кабелю через згини і муфти, що з'єднують частини кабельного каналу. При використанні методу прокладання з поршнем, повинні бути підготовлені відповідні кабельні затискачі, що приєднуються до верхнього кінця кабелю.

Для уникнення повітряних втрат протягом всього процесу прокладання слід ретельно за допомогою спеціального з'єднувача приєднати ЗПТ до машини задування. Машина включається і повітряний потік, що генерується компресором, починає задування кабелю в середину ЗПТ.

У разі застосування кількох послідовно розміщених машин задування, коли кабель досягає другої точки прокладання, необхідно зупинити першу машину і ввести кабель послідовно в іншу машину та ЗПТ. Включається перша машина, а потім друга.

⁹ Є різні методи перевірки кабельних каналів на відповідність (наприклад, задування відповідних за величиною прутків або губки).

Коли кабель прокладається з проміжної точки, спочатку прокладається перша довжину кабелю в одному напрямі. По закінченні прокладання першої довжини, залишок кабелю викладають вісімкою або згортають кільцем. Слід запобігати забруднення кабелю. Машину задування розміщують так, щоб забезпечити прокладання в протилежному напрямі і відновлюють процес прокладання.

Діаметр кабелю, що вводиться, повинен бути приблизно в 2 рази менше від внутрішнього діаметра трубки (таблиця 8.3).

Таблиця 8.3 — Допустиме співвідношення діаметра трубки та ОК, що задувається.

Типорозмір трубки, мм/мм	Прокладання трубки		Максимальний діаметр кабелю, що вводиться, мм
	в ґрунт	в кабельну каналізацію	
25/21	х	х	9
32/27	-	х	12
32/26	х	х	12
32/25	х	—	12
37/32	-	х	14
37/31	х	-	14
40/35	—	х	15
40/34	—	х	15
40/33	х	—	15
40/32	х	—	15
50/43	х	—	20
50/42	х	—	20
50/41	х	—	20
63/55	х	—	—
63/53	х	—	—

Примітка. Зазначені співвідношення діаметрів трубки і кабелю наведено з урахуванням можливості введення кабелю методом задування від 500 м до 2000 м з однієї установки.

При прокладанні довжин від 250 м до 500 м, діаметр кабелю може бути збільшений до 0,7 – 0,75 внутрішнього діаметра трубки.

Для задувки використовуються труби з внутрішнім покриттям спеціальною плівкою або з насічкою внутрішньої поверхні. Коефіцієнт тертя внутрішньої поверхні повинен бути менше ніж 0,1.

Допускається можливість задувки ОК в існуючу поліетиленову трубку з наявним в ній ВОК.

8.4.2 Прокладання ВОК методом сплаву

Цей метод поки не має застосування в Україні, але можливо знайде своє застосування при появі «міжміської каналізації» побудованої з використанням пластикових труб та пластикових оглядових пристроїв.

Адже, як показує досвід застосування подібних технологій в інших країнах, канали такої каналізації мають значну протяжність і перед прокладанням ВОК їх промивають водою. Прокладання ВОК методом сплаву [8.7] базується на застосуванні насоса, який створює відповідний потік води вздовж каналу кабельної каналізації. Потік води передає кабелю зусилля, яке штовхає його вперед зі швидкістю від 30 м/хв. до 40 м/хв. При цьому на передньому кінці кабелю відсутня будь-яка тяга – він повністю і цілком вільний (ні канату, ні парашуту не приєднують). Крім того, тиск води мінімізує ефект тертя, що виникає між кабелем і кабельним каналом в процесі прокладання.

При використанні цієї технології прикладені зусилля складають близько 0,10 – 0,15 Н·кг на 1 м кабелю. Отже результуючі сили, прикладені до кабелю нижчі, ніж ті, що прикладаються у разі використання методів протягування. Це також зменшує ризики пошкоджень, характерних для інших методів прокладання.

У випадках коли швидкість рідини еквівалентна максимальному дозволеному розтягуючому зусиллю на кабель, присутність згинів кабельного маршруту стає менш істотним і впливовим чинником у порівнянні із застосуванням методів протягування. Швидкість рідини 1 м/с еквівалентна зусиллю тяжіння важких ВОК (приблизно 300 кг/км).

До того ж, густина води більша, ніж у повітря, тому, для прокладання вибраної конструкції кабелю (маса і діаметр), необхідний нижчий, ніж при методі вдування, тиск води. Це дозволяє прокладати кабелі в кабельні канали, які розраховані витримувати робочий тиск в 6 бар, який не може бути достатнім у разі використання методу прокладання за допомогою повітря.

Кабелі прокладаються без фактичного напруження, залишаючись послабленими в кабельному каналі після прокладання.

Сплав за допомогою води не викликає істотного зростання температури кабельного каналу, надаючи перевагу в порівнянні з системами, що використовують методи прокладання за допомогою стислого повітря.

Для складних трас треба брати до уваги вагу води, що штовхає кабель у напрямку до верхньої сторони. Рекомендується збільшувати тиск води до 1 бар на кожні 10 м рівня перепаду. Якщо перепад вимагає зростання тиску води до рівня несумісного з максимальним тиском, на який розраховані кабельні канали

та їх з'єднання, доцільно продовжити прокладання в напрямку “вниз”, використовуючи при цьому обмежену кількість води.

Отже, матеріал і товщина кабельних каналів та відповідних їм водонепроникних з'єднувальних муфт повинні відповідати тиску води, який використовується. Рекомендується значення ≥ 6 бар. Використання кабельних каналів з ПЕ високої щільності (ПЕВЩ), що мають робочий тиск (NP) менш ніж 6 бар (NP6) можливе, але при цьому доведеться обґрунтувати таке застосування (довжина траси, тип кабелю, схема розташування, топологія маршруту, внутрішній діаметр кабельних каналів, спроможність кабельних каналів витримати внутрішній надлишковий тиск, що створюється при використанні подібного методу прокладання).

Для того, щоб перешкоджати непередбаченому тертю між кабельним каналом і кабельною оболонкою, слід пересвідчитись, що кабельний канал знаходиться в нормальному стані (повинен тримати круглу форму протягом всього маршруту), бути якомога чистим.

Максимальний діаметр кабельних каналів залежить від типу машини, що використовується. Канали з ПЕВЩ з зовнішнім діаметром 40 – 50 мм дозволяють прокладати до 6000 м кабелю.

Гнучкі кабелі (мінімальний радіус вигину при прокладанні менший 300 мм) можуть сплавлятися вздовж маршруту без істотного опору навіть при наявності великої кількості згинів. Жорсткий кабель може чинити опір просуванню в кабельному каналі, якщо два послідовні згини розміщуються близько один від одного (наприклад, 50 м).

Іншим важливим параметром при використанні жорстких кабелів є тертя між кабельною оболонкою і внутрішньою поверхнею кабельного каналу. Такий параметр повинен бути якомога нижчим: типове значення динамічного коефіцієнту тертя має складати 0,1. Для того, щоб обмежити сили тертя між кабелем і кабельним каналом, рекомендується уникати двох або більше послідовних згинів на 90°, розміщених менш ніж за 20 м один від одного, інакше, жорсткість кабелю може викликати надмірне тертя між цими відповідними точками згинання. Для мінімізації ефекту тертя діаметр кабелю не повинен бути більшим 50% внутрішнього діаметра кабельного каналу.

В таблиці 8.4 приведена залежність максимальної довжина кабелю, яку можна прокласти методом сплаву від маси кабелю та типу ЗПТ для прямолінійної ділянки траси.

Таблиця 8.4 – Максимальна довжина кабелю в залежності від типу труби [8.7].

Маса кабелю (кг/км)	Тип труби (ПЕВЩ діаметром 50 мм)	Максимальна довжина сплаву (м)
100	NP6	4000
100	NP10	6000
200	NP6	3000
200	NP10	4000
300	NP6	2000
300	NP10	3000

Основними частинами системи для прокладання ВОК (рисунок 8.19) методом сплаву є:

- водяний насос;
- резервуар з водою;
- пристрій штовхання кабелю (гусенична передача);
- пристрій об'єднання потоку води та кабелю.

Для спілкування робітників між кінцями кабельної траси слід розгорнути радіозв'язок або користуватись мобільними телефонами.

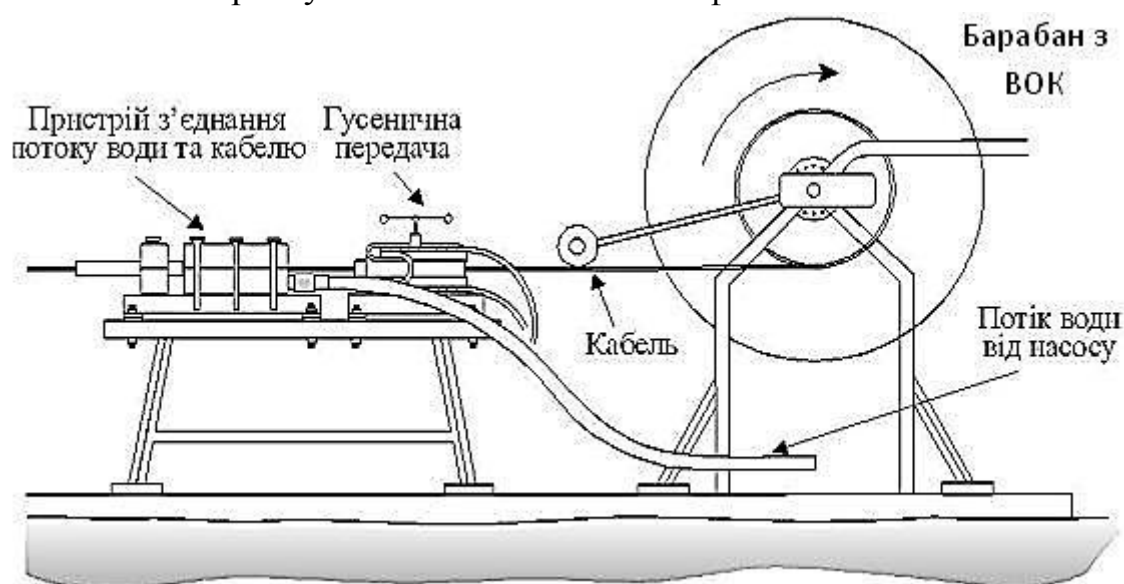


Рисунок 8.19 — Загальний вигляд комплексу машини сплаву [8.7].

Водяний насос це рухома станція, що встановлюються на вантажівку і використовується для утворення потоку води високого тиску вздовж траси кабельного каналу. Насос подає потік води, який штовхає кабель в кабельний канал.

Місткість резервуару повинна бути здатна поставляти воду для максимального розміру кабелю, який прокладається, з урахуванням:

- внутрішнього діаметра кабельного каналу;
- довжини кабельного каналу;
- діаметра кабелю;
- швидкості прокладання кабелю;

– швидкості рідини.

Слід зазначити, що для типового прокладання 6000 м кабелю необхідно приблизно 6000 л води для заповнення кабельного каналу до початку прокладання кабелю і ще 2000 л для його прокладання. Для цього потрібна вантажівка, на якій монтується резервуар з водою приблизно на 8000 л, контролер машинного обладнання та кабельний барабан. Другий резервуар може використовуватись для відновлення постачання води на дальньому кінці траси кабельного каналу.

По закінченні прокладання кабелю, канали кабельної каналізації мають бути звільнені зсередини від води (за допомогою повітряного компресора).

Потік води і кабель спрямовуються всередину “камери сплаву” для передачі кабелю тягового зусилля. Камера сплаву призначається для об’єднання кабелю і потоку води високого тиску вздовж траси. Система розміщується на тому кінці кабелю, де починається прокладання і якомога ближче до першого кабельного оглядового пристрою на трасі.

Гусенична передача використовується для запуску і регулювання швидкості прокладання кабелю тому, що швидкість прокладання кабелю, викликана потоком води дуже велика. Гусенична передача дозволяє: зупинити прокладання кабелю; запустити знову і навіть змінити напрямок прокладання кабелю.

Швидкість регулюється двигуном, який забезпечується ручним або автоматичним пристроєм запуску і зупинки. Також повинна використовуватися система зміни швидкості двигуна для узгодження швидкості обертання кабельного барабану з потрібною швидкістю прокладання (рекомендована швидкість прокладання 40 м/хв.).

Щоб досягти оптимальних умов прокладання потрібно визначити краще місце для розташування машини сплаву. Наприклад, для мінімізації ефекту тертя ВОК на згинах каналу близько розміщених до одного з кінців траси, прокладання слід почати з більш віддаленого кінця

Кабельний канал повинен бути з’єднаний на всьому проміжку між кабельними оглядовими пристроями за допомогою відрізка кабельного каналу і водонепроникних з’єднувальних муфт з відповідним робочим тиском (NP). Рекомендується відрізок кабельного каналу встановлювати навколо стіни оглядових пристроїв для того, щоб залишити його для майбутнього використання, інакше його доведеться вилучити після прокладки. Максимальний тиск, який кабельний канал може підтримувати протягом коротких періодів, не повинен перевищувати значень $3NP$ кабельного каналу з ПЕВЩ. Зазвичай, з’єднання кабельного каналу так само повинні бути здатними витримати такий максимальний тиск. Траса кабельного каналу повинна

контролюватися і перевірятися за допомогою системи, здатної безпосередньо виконувати випробування “проходить не проходить” по всьому внутрішньому діаметру кабельного каналу.

Перед прокладанням кабелю, потоком води слід перевірити цілісність та однорідність кабельного каналу. Вода повинна цілком заповнити кабельний канал, щоб усунути яку-небудь повітряну яму.

Якщо кабель прокладається від проміжної точки, спершу прокладається перша довжина кабелю в одному напрямі. По закінченні прокладання першої довжини, змотують частину кабелю, що залишається на барабані і викладають на ґрунт “вісімкою”. При цьому слід вживати спеціальних заходів аби усунути забруднення кабелю. Після цього, переустановлюють машину сплаву таким чином, щоб забезпечити можливість прокладання кабелю в іншому напрямку і повторюють процедуру (рисунок 8.20).

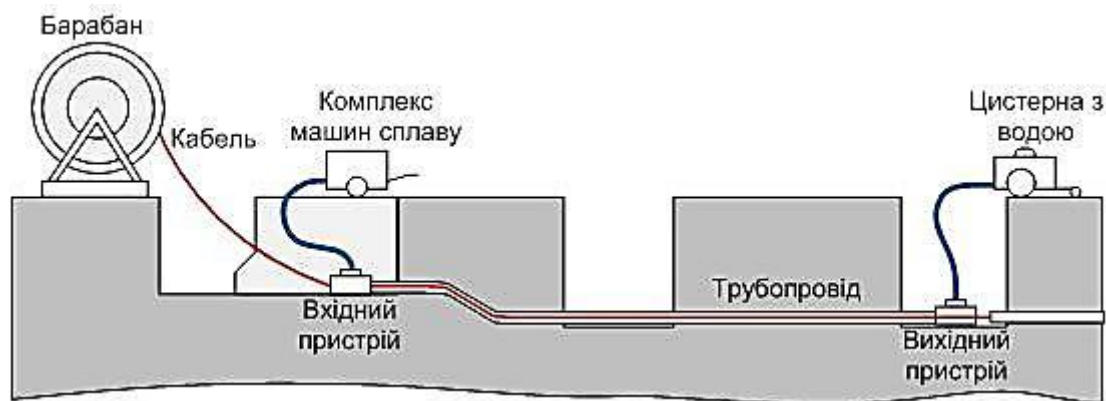


Рисунок 8.20 — Схематичне розташування обладнання сплаву [8.7].

8.5 Підвішування волоконно-оптичних кабелів

Підвішування кабелів необхідно передбачати на опорах наявних повітряних ліній зв'язку. Будівництво нових повітряних ліній має бути економічно і технічно обґрунтоване. Для підвішування кабелів зв'язку на міських і сільських мережах можуть використовуватися стояки, встановлені на дахах будинків.

У разі необхідності підвішування кабелів зв'язку між будинками та між будинками та опорами, у межах населених пунктів у проектній документації повинні бути наведені розрахунки, що підтверджують безпечність для оточуючих такого методу прокладання кабелів і передбачені необхідні для цього заходи.

Причому на опорах ПЛЗ допускається підвішування кабелів масою не більше ніж 1,6 кг/м, а на опорах стоякових ліній – не більше ніж 0,7 кг/м.

Несучий трос, що використовується для підвішування кабелів, має бути заземлений на початку і в кінці лінії, крім того, у населених пунктах – через кожні 250 м, а поза населеними пунктами – через кожні 2 – 3 км.

Підвішування вищезазначених кабелів зв'язку на висоті більше ніж 20 м у найвищій точці підвісу, а також з довжиною прольоту більше ніж 50 м – не рекомендується. Максимальна величина стріли провисання визначається проектними розрахунками для кожного випадку.

Перед початком робіт з підвішування ВОК необхідно [8.9]:

- провести старанне обстеження траси, стану опор відповідної лінії (ЛЕП, ПЛЗ чи КМЗ), на які буде підвішуватися ВОК;
- впевнитися у відсутності на трасі ПЛЗ дерев, чагарнику та інших завад, що ускладнюють роботи з підвішування ВОК;
- визначити місце розташування приоб'єктових складів та площадок для зберігання кабельних барабанів, наявність під'їзних шляхів до них та до місця проведення робіт;
- підготувати і узгодити з власником відповідної лінії (ЛЕП, ПЛЗ чи КМЗ), на опори якої буде підвішуватися ВОК, графік проведення робіт, де необхідно обумовити питання, пов'язані з безпечним виконанням робіт.

До початку підвішування ВОК повинні бути виконані такі роботи:

- підготовлена траса підвісної ВОЛЗ з урахуванням особливостей конструкції опор та розташування проводів на них;
- виконано облаштування захисту на переходах через інженерні споруди;
- доставлені на трасу барабани з ВОК і механізми для його розмотування.

Для переміщення по трасі підвісної ВОЛЗ бригади, лінійної арматури та інструмента використовують бригадну машину, яка укомплектована в обов'язковому порядку медичною аптечкою і бачком для питної води з кухлем.

При підвішуванні ВОК на опорах необхідно обов'язково використовувати комплекти засобів механізації, пристосувань та інструменту, перелік яких приведено у відповідних інструкціях з підвішування ВОК на опорах ЛЕП, ПЛЗ та КМЗ.

Підвішування ВОК проводиться при температурі не нижче мінус 10°C.

В процесі підвішування ВОК повинні застосовуватися заходи, які б виключали можливість порушення його механічних та оптичних характеристик.

Змотування ВОК повинно здійснюватися обертанням барабана, який розташований на осі. Забороняється змотувати ВОК шляхом натягування кабелю чи перекочуванням барабану. Забороняється знімати петлі кабелю з нерухомого барабана. При змотуванні ВОК з барабанів не можна допускати різких згинів та заломів ВОК внаслідок злипання або змерзання витків, неправильної заводської намотки, різкої зміни швидкості обертання барабана

тощо. При маніпуляціях з ВОК не повинні порушуватися нормативні величини на мінімально допустимий радіус вигину кабелю.

Будівельна довжина ВОК повинна закінчуватися на опорі ПЛЗ, ЛЕП чи КМЗ. При цьому необхідно передбачати запас кабелю для вимірювання і монтажу ВОК.

Пункт інсталяції (ПІ) – місце на опорі, де відбувається закріплення підвішеного ВОК. Існує два типи ПІ: пункти натягу (ПН) та пункти підвішування (ПП). Вони мають різні характеристики і у кожному випадку використовується різна арматура. В ПН ВОК фіксується за допомогою натяжних затискачів, в окремих ПП ВОК фіксується за допомогою підтримувальних затискачів.

ПН (анкерний) являє собою ПІ на кінцевій (анкерній) опорі, в якому ВОК натягується з однієї сторони ПН і ослаблюється з іншої. ПН організується:

- якщо опора є кінцевою;
- якщо відбувається зміна напрямку траси на кут понад 20° ;
- якщо відбувається суттєва зміна у висоті підвішування ВОК;
- якщо організується введення ВОК до будівель;
- через кожний 1 км траси при підвішуванні ВОК великої довжини.

ПП являють собою ПІ, що розміщуються на проміжних опорах і призначені для підтримування ВОК між ПН.

До початку підвішування самонесучого ВОК (крім ВОК з несучим тросом) безпосередньо на кінцевих та проміжних опорах ПЛЗ встановлюють спеціальні консолі для кріплення затискачів (відповідно натяжних чи підтримувальних) та напрямні роликові блоки (нижче чи вище спеціальних консолей). На траверсах ПЛЗ встановлюють болти з гаками чи гаки підвісні, до яких кріпляться підтримувальні затискачі (на проміжних опорах), спеціальні консолі для кріплення натяжних затискачів або болти з гаками чи гаки підвісні, до яких кріпляться натяжні затискачі (на кінцевих опорах). Нижче болтів з гаками чи спеціальних консолей встановлюють напрямні роликові блоки. Після цього розмотують вздовж лінії опор тяговий канат лебідки і піднімають його на ролики направляючих блоків [8.9].

До початку підвішування самонесучого ВОК з несучим тросом безпосередньо на проміжних опорах ПЛЗ встановлюють клеми (консолі) для кріплення несучого канату, вбудованого в ВОК. На траверсах проміжних опор встановлюють болти з гаками чи гаки підвісні, до яких кріпляться клеми (консолі) для кріплення несучого тросу, вбудованого в ВОК. Нижче болтів з гаками чи клем (консолей) встановлюють спеціальні напрямні роликові блоки. Тяговий канат лебідки розмотують вздовж лінії опор, піднімають на ролики

напрямних блоків. Від кінця кабелю на відстані, яка дорівнює висоті опори плюс 4 м відділяють вбудований трос від оболонки ВОК.

До початку підвішування несамонесучого ВОК, на проміжних опорах ПЛЗ встановлюють клєми (консолі) для кріплення несучого каната. Нижче або вище клєм (консоль) встановлюють спеціальні напрямні роликові блоки. Несучий канат розмотують вздовж лінії опор. Відповідним чином з'єднують будівельні довжини несучого каната. Наявність з'єднань тросу в прольотах між опорами ПЛЗ не допускається. Далі несучий канат піднімають на ролики напрямних блоків, натягують і закріплюють. Тяговий канат лебідки розмотують вздовж лінії опор і піднімають на ролики блоків (рисунок 8.21).

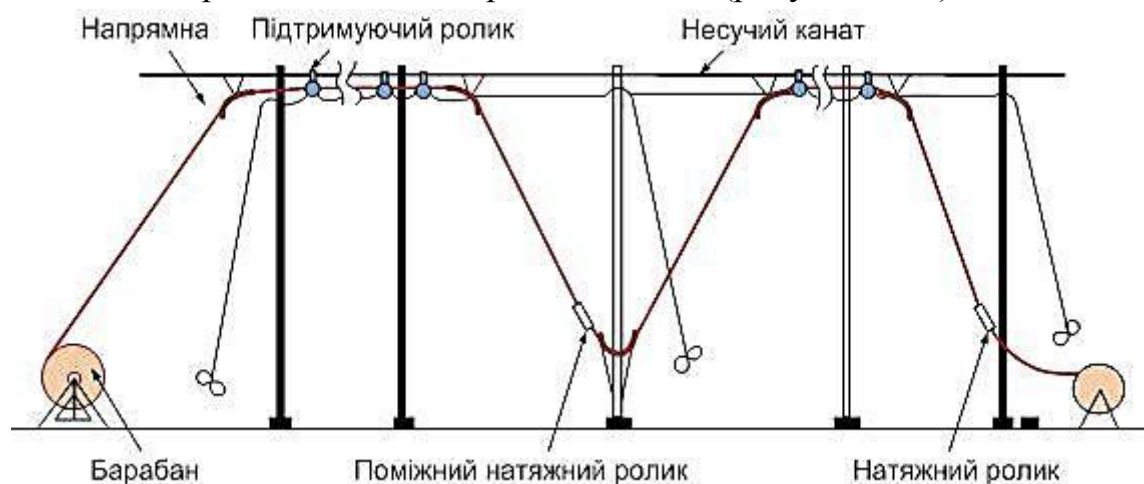


Рисунок 8.21 — Протягування підвісного ВОК через систему роликів.

Для підвішування несамонесучих ВОК на опори ПЛЗ можуть застосовуватись сталеві троси чи дроти. Несамонесучий ВОК до несучого тросу може кріпитись за допомогою підвісів або підв'язуванням. Відстань між підвісами, якими несамонесучий ВОК кріпиться до несучого каната, повинна бути не більше 350 мм.

Несучий трос самонесучого ВОК (типу “вісімки”) чи несучий канат (дріт) до опор ПЛЗ може кріпитись за допомогою струбцин, спеціальних клєм чи кінцевим в'язанням з обмотуванням окремих жил канату в'язальним дротом (рисунок 8.22); на проміжних опорах – за допомогою консолей (рисунок 8.23), а на кутових опорах двома стовповими консолями при підвішуванні ВОК з боку зовнішнього кута (внутрішній кут менше 160°) або спеціальною скобою при підвішуванні ВОК з боку внутрішнього кута (кут $\leq 160^\circ$).

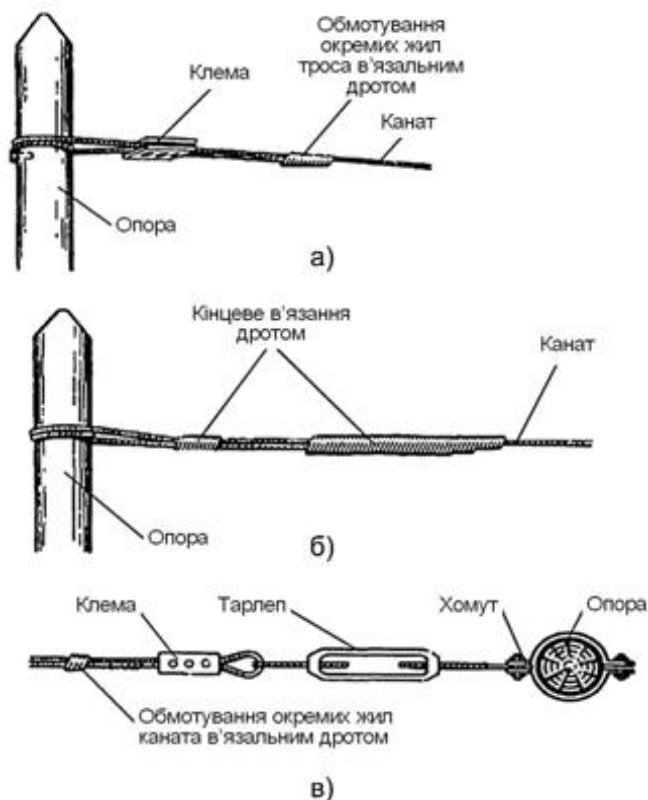


Рисунок 8.22 — Кріплення несучого тросу для підвішування ВОК на кінцевих опорах ПЛЗ.

а) з використанням клем;

б) кінцевим в'язанням та обмотуванням окремих жил троса в'язальним дротом;

в) струбциною з хомутом.

вимикається і ВОК, в залежності від його типу, кріпиться чи до опор, чи до траверси, чи до несучого тросу.

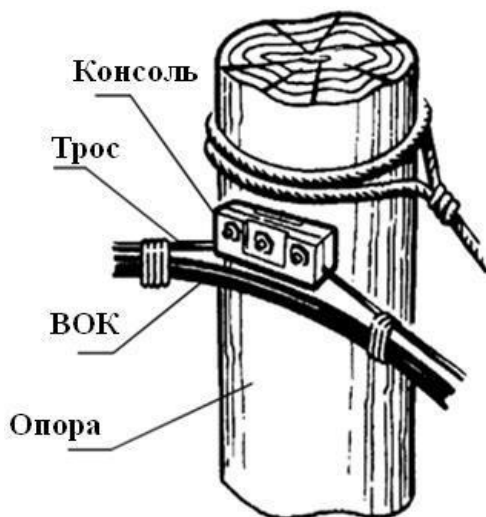


Рисунок 8.23 — Кріплення каната для підвішування ВОК на проміжних та кутових опорах.

та закріплення ВОК здійснюється за один прохід, не вимагає застосування та попереднього розміщення на опорах направляючих блоків, тягових канатів та

Піднімання ВОК на опори ПЛЗ здійснюється його протягуванням по напрямних роликах за допомогою кабельної лебідки. Барабан з ВОК на домкратах встановлюється на відстані 20 м від опори в напрямку, протилежному напрямку протягування. Кінець ВОК за допомогою “кабельної панчохи” через компенсатор обертання приєднується до кінця тягового каната лебідки, який заздалегідь укладений на роликах напрямних роликів блоків. За рахунок намотування тягового тросу на барабан лебідки здійснюється протягування ВОК по направляючих роликах. Після того, як весь сегмент ВОК буде затягнутим на опори ПЛЗ, лебідка

Цей метод затягування ВОК має назву метода стаціонарного барабана. Метод стаціонарного барабана застосовується для підвішування ВОК за наявності перешкод для переміщення барабану з кабелем вздовж лінії опор [8.10].

Метод рухомого барабану може застосовуватись для підвішування ВОК, коли транспортний засіб з барабаном ВОК може рухатись вздовж лінії опор за умов відсутності будь-яких перешкод для підйому кабелю на опори або руху транспортного засобу. Метод є економічно вигідним, оскільки підвішування

лебідок. Крім того, в процесі підвішування не перевищуються дозволені зусилля розтягування на ВОК.

Підвішування ВОК за методом рухомого барабана здійснюється таким чином. ВОК розмотується вздовж лінії опор ПЛЗ. Монтажник, який знаходиться у корзині телескопічної вишки-підйомника, за рахунок її підйому піднімає ВОК і закріплює його на опорі.

Після піднімання (протягування) усього сегменту, переходять до натягування ВОК та встановлення стріли провисання. Стріла провисання і результуючий натяг ВОК залежать від довжини прольоту між опорами, на яких підвішується кабель. Величина стріли провисання повинна бути визначена у проектній документації.

Встановлення стріли провисання та остаточного натягу ВОК проводиться у напрямку тяжіння ВОК при застосуванні методу рухомого барабана і у протилежному напрямку при застосуванні методу стаціонарного барабана.

Приклади кріплення самонесучого ВОК на проміжних, кутових або анкерних опорах наведено на рисунках 8.24 – 8.25 [8.10].

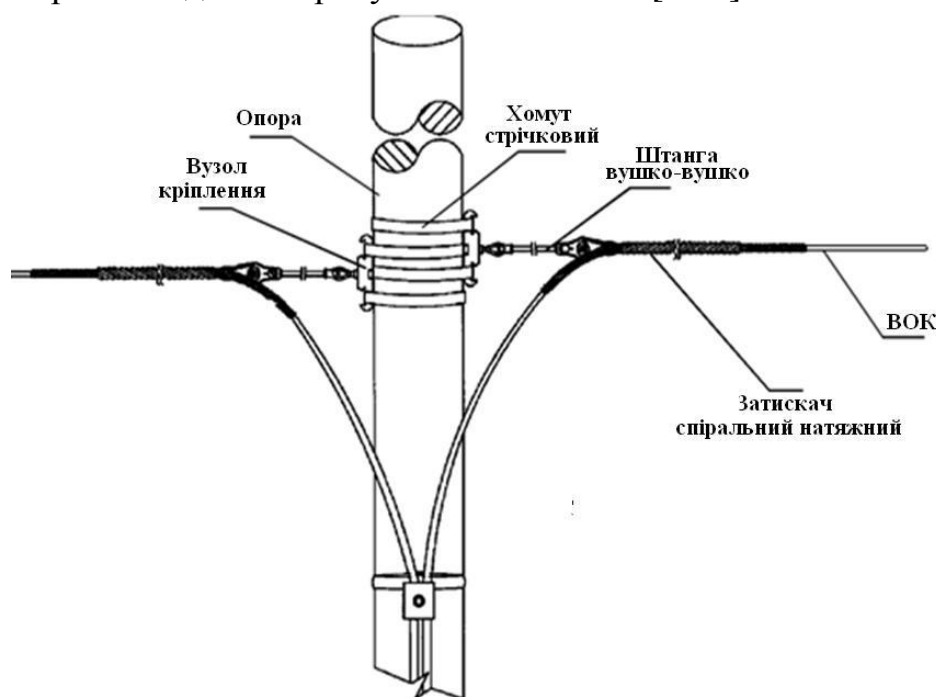


Рисунок 8.24 — Кріплення ВОК напункты натягу (ПН).

Місце зрощування підвішених ВОК розташовується, як правило, збоку від опори або на опорі, а не в прогоні. Муфти повинні розташовуватись таким чином, щоб забезпечити можливість вільного доступу і простого демонтажу для проведення ремонтних робіт. При наявності на опорах фазових проводів, муфти повинні розташовуватись з польової сторони опор.

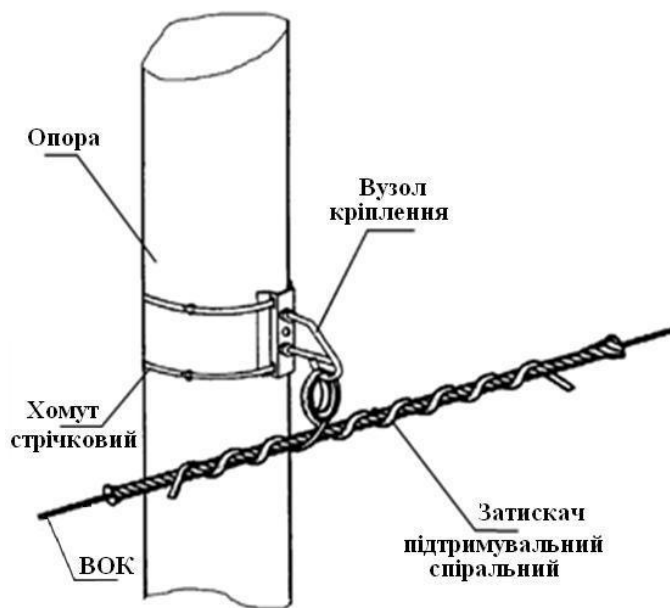


Рисунок 8.25 — Кріплення ВОК на проміжній опорі.

Муфти ВОК повітряних ВОЛЗ можуть встановлюватись [8.10]:

- безпосередньо на опорі (рисунки 8.26— 8.27);
- на опорі в спеціальному металевому ящику, розміри якого повинні забезпечувати укладання у ньому технологічного запасу оптичного кабелю з допустимим радіусом згину, а конструкція ящика повинна перешкоджати несанкціонованому доступу до муфти. Встановлення спеціального ящика на опорі зображено на рисунку 8.28;
- в котловані, край якого повинен відступати від опори на відстань від 0,5 до 0,7 м. При цьому ввід оптичного кабелю в котлован повинен здійснюватися за допомогою пластикової труби, яка повинна захищатися металевим жолобом (рисунок 8.29);
- в особливих випадках (при проходженні траси ВОЛЗ в гірських районах, поблизу підземних переходів та ін.) допускається кріплення з'єднувальних муфт до каната у прольоті (рисунок 8.30).

Муфти, які встановлюються на опорах ПЛЗ, рекомендується розміщувати нижче ОК пидвысної ВОЛЗ.

Технологічний запас ВОК повинен викладатися у котловані за радіусом не меншим допустимого для даної марки ВОК.

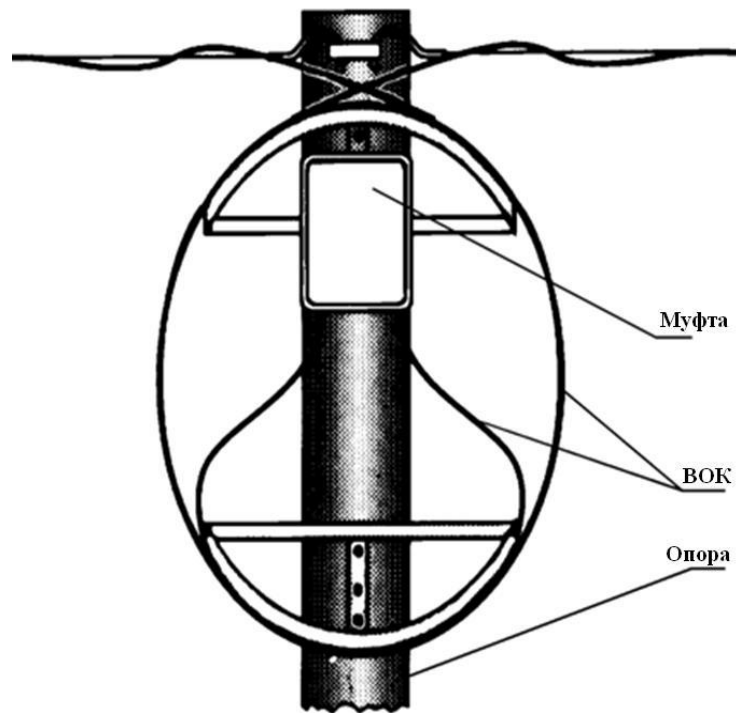


Рисунок 8.26 — Розміщення муфти на опорі ПЛЗ

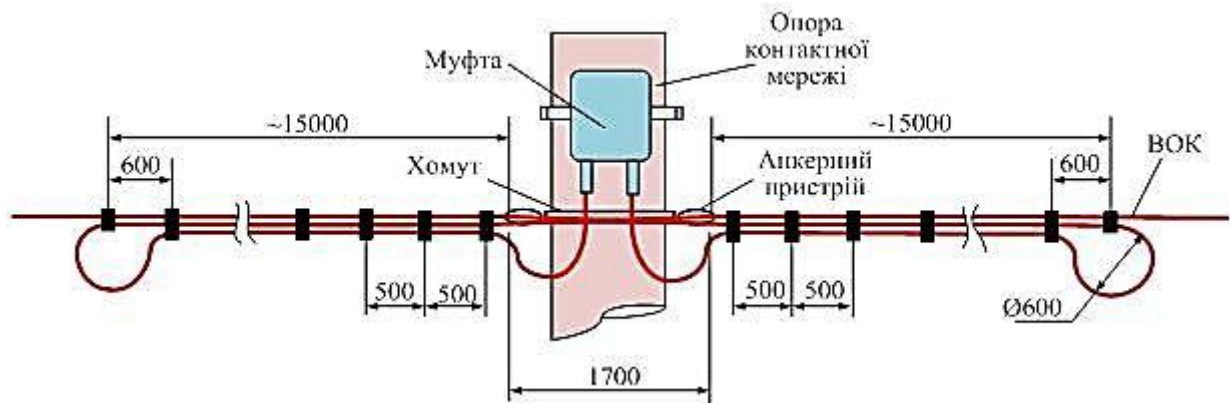


Рисунок 8.27 — Розміщення муфти на опорі КМЗ [8.11]

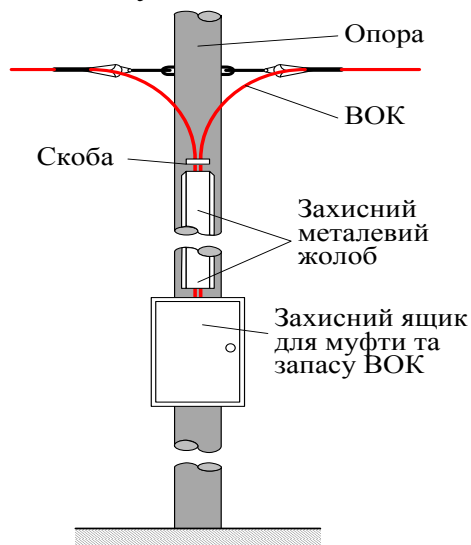


Рисунок 8.28 — Встановлення з'єднувальної муфти ВОК підвісної ВОЛЗ на опорі

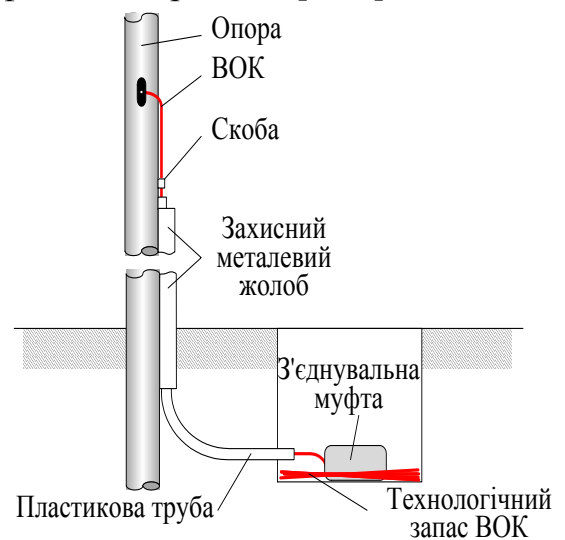


Рисунок 8.29 — Встановлення з'єднувальної муфти ВОК підвісної ВОЛЗ в котловані/



Рисунок 8.30 — Приклад розміщення муфти ВОК на несучому канаті.

При проектуванні прокладання кабелю методом підвісу, важливо враховувати наступні моменти, відображені у [8.20] і наведені нижче:

Пікове вітрове навантаження виникає в

моменти коли вітер дує під прямим кутом до конструкції підвішеного кабелю. Це навантаження обчислюють за формулою:

$$T_w = \frac{1}{2} \rho C_D V_w^2 S \quad [\text{Н}], \quad (8.5)$$

де:

ρ – щільність повітря;

C_D – коефіцієнт опору підвішеної конструкції визначається випробуванням в аеродинамічній трубі;

V_w – швидкість вітру;

S – площа профілю кабелю і конструкції підвісу на тросі (зледеніння кабелю і підвісного тросу може збільшити площу профілю).

Натяжне навантаження, на підвішений кабель, може бути обчислено за формулою:

$$T = \frac{WL^2}{8d} \quad [\text{Н}], \quad (8.6)$$

де:

L – довжина прольоту;

d – величина провисання (має зворотнє відношення до T)

W – результуюче навантаження, котре сумарно враховує вітрове навантаження та вагу кабелю і обчислюється за формулою (8.3)

$$W = \sqrt{w^2 + \left(\frac{T_w}{D}\right)^2} \quad [\text{Н/м}], \quad (8.7)$$

де

w – сукупність ваги кабелю і тросу на одиницю довжини;

D – сумарні діаметри кабелю та підвісного тросу;

Також потрібно враховувати, що максимальний натяг тросу буде за мінімальної температури, оскільки металеви частини скорочуватимуться.

Для розрахунку довжини кабелю в прольоті між точками підвісу використовують формулу:

$$l = L + \frac{L^3 W^2}{24 T^2} = L + \frac{8 d^2}{3 L} \quad [\text{м}], \quad (8.8)$$

де:

L – довжина прольоту [м].

Для обчислення допустимої довжини прольоту при підвішуванні кабелю необхідно знати величину розтягуючого зусилля, враховувати погонну вагу кабелю, допустимі величини провісу підвіски, вплив температури, вітрового навантаження, обледеніння, габарити кабелю модуль Юнга матеріалів підвісу та кабелю, температурні коефіцієнти лінійного розширення та норми запасу кабелю при підвісі.

Також необхідно вивчити стан будинку та споруд і їх допустиме (не руйнуюче) навантаження на місця кріплення.

При виборі тросу слід враховувати, що за умови значних корозійних впливів (морське узбережжя, значні промислові підприємства, особливо гірничодобувної промисловості) трос, що використовується для підвісу кабелю має мати антикорозійні властивості.

Кабелі прокладені прикріпленням до сталевого тросу, в місцях їх переходу з тросу на конструкції будинків чи споруд, повинні бути звільнені від механічних зусиль.

Стріла провісу тросу в прольотах між концевими кріпленнями має бути в межах $1/40 \div 1/60$ довжини прольоту [8.21].

8.6 Особливості прокладання волоконно-оптичних кабелів на мережах доступу

При прокладанні ВОК мереж доступу застосовуються як традиційні (в ґрунт, в кабельній каналізації, в захисних трубках, підвішуванням на опорах підвісних ліній зв'язку, опорах електромереж та електротранспорту, підвісом кабелю між дахами будинків та між опорою та дахом будинку) так і альтернативні методи прокладання ВОК. При виборі методу прокладання слід враховувати [8.12] наступне:

- для вибору методу прокладання в кожному конкретному випадку має проводитись аналіз економічних показників, впливу довкілля та відповідних правил або інструкцій;
- скрізь, де це можливо має використовуватись існуюча інфраструктура (каналізація, опори, тощо);
- прокладання має виконуватись кваліфікованим персоналом, який має досвід даного типу прокладання;
- необхідність підвісу кабелю в межах населених пунктів між будинками та між будинком і опорою повинно бути обґрунтоване техніко-економічними показниками з розрахунками, котрі доводили би безпечність для оточуючих такого методу прокладання кабелю з відповідними висновками експертизи на такий проект. Підвіс кабелів в межах населених пунктів між будинками та між будинком і опорою на висоті вище 20

метрів в найвищій точці підвісу, а також з довжинами прольоту більшими 50 метрів не рекомендується.

При прокладанні в каналізації, слід враховувати те, що:

- оглядові пристрої або шафи мають використовуватись як мережні з'єднання та точки доступу;
- коли діаметр каналу кабельної каналізації дозволяє застосування ПЕ або ПВХ субканалів, вони мають бути встановлені в стандартні канали;
- кабель може прокладатись в каналі будь-яким методом [8.13];
- за потреби, від будь-якої проміжної точки, кабель може розміщатись між опорами шляхом підв'язування його до несучого тросу;
- надлишкова довжина кабелю має зберігатись в шафах або оглядових пристроях.

При прокладанні кабелю безпосередньо в ґрунт, слід враховувати наступне:

- з'єднувальні муфти мають зберігатись безпосередньо в ґрунті або бути захищені попередньо встановленими захисними боксами;
- може застосовуватись будь-який з традиційних методів прокладання [8.13].

При прокладанні підвісного кабелю, слід враховувати те, що:

- опори можуть бути зроблені з деревини, цементу, сталі або пластмаси в залежності від економічної доцільності або дослідження умов довкілля;
- кабель може підв'язуватись до (або навиватись навколо) несучого кабелю/проводу, чи має застосовуватись самонесучий кабель;
- кабель має підвішуватись на усіх опорах, окрім особливих випадків, наприклад:

на опорах, де розмішуються з'єднання будівельних довжин;

на кінці траси;

при річковому або дорожньому перетині;

Через певну кількість опор, кабель має бути заанкерований (зафіксований на опорі), щоб передати основане навантаження від кабелю на опору;

довжина кабелю для монтажу повинна мати певний запас.

Специфіка мереж доступу створила передумови для застосування нетрадиційних методів прокладання ВОК. До таких методів відносяться прокладання ВОК в міні— та мікротраншеях.

8.6.1 Мінітраншейна технологія

Мінітраншейна технологія [8.14] дозволяє прокладати ВОК в захисних трубках безпосередньо в ґрунт. Переваги такої технології над традиційними методами прокладання – в швидкості виконання, більш низькій

вартості, зниженні екологічного впливу і обмеженні руйнування доріг та, як наслідок, полегшенні отримання дозволу на зайняття громадських зон.

Мінітраншейна технологія може бути застосована на трасах з асфальтовим покриттям. Не рекомендовано, щоб технологія застосовувалась на трасах з основою з піщаного ґрунту, гравію або каміння середнього розміру (тобто, від 1 см до 20 см в діаметрі). Ця технологія не застосовується у випадку наявності великої кількості перетинів з вже існуючими підземними комунікаціями.

Мінітраншеювання зазвичай виконується із зриванням полотна та риттям траншеї, глибина та габарити якої змінюються у відповідності до числа труб, що будуть укладені: глибина – від 30 см до 40 см, в той час як ширина може змінюватись від 7 см до 15 см. Щоб гарантувати захист від пошкоджень, що можуть бути викликані наступними дорожньо-ремонтними роботами, глибина прокладання труб має бути постійною і на 5 см глибшою за глибину різання асфальтного полотна, зазвичай зазначену для виконання робіт по ремонту дорожнього полотна.

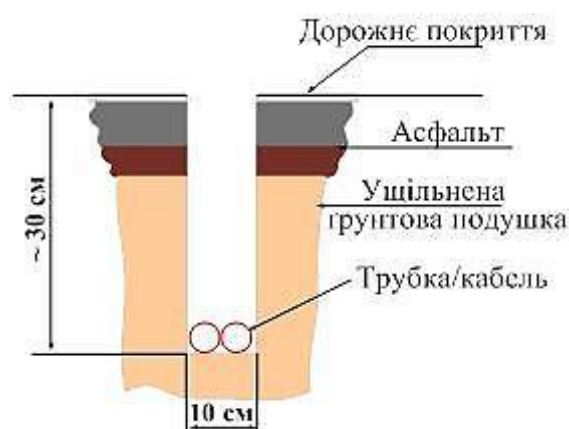


Рисунок 8.31 — Приклад профілю мінітраншеї [8.14].

Приклад можливого профілю мінітраншеї показано на рисунку 8.31. Вибір профілю мінітраншеї залежить від типу застосованого обладнання, кількості труб або кабелів, передбачених проектом.

У випадку, коли мінітраншея відкопується на дорозі без бордюру або тротуару, вона має бути зафіксована на відстані близько 1 м від краю дороги (або якщо можливо, точно по зовнішній

стороні бічної лінії). В окремих випадках, коли це неможливо, мінітраншея може бути вирита впритул до краю асфальту.

Мінітраншея відкопується із застосуванням відповідних траншеєкопачів роторного типу, показаних на рисунках 8.32 та 8.33. Вибраний маршрут не повинен мати різких змін напрямку. Там, де такі зміни можливі, вони мають бути виконані поступовими кутовими вирізами, щоб забезпечити мінімальні дозволені радіуси вигинів труб та кабелів.

Траса прокладання каналів мінітраншейним способом вибирається на відстані не більше ніж 1 м від краю проїзної частини на узбіччі чи пішохідній доріжці, а в стиснених умовах – уздовж краю асфальтового покриття дороги.

Спосіб підготовки траншеї такий самий, як і для прокладання кабелю безпосередньо в ґрунт.



Рисунок 8.32 — Приклад стандартного траншеєкопача [8.13].



Рисунок 8.33 — Приклад повністю автоматичної траншейної машини [8.14].

При відкопуванні мінітраншеї слід:

- дотримуватись усіх вимог та правил, встановлених адміністрацією, включаючи наявність дозволу та плану на проведення робіт;
- огородити мінітраншею добре видимими бар'єрами, вказівниками і дорожніми знаками, встановленими відповідно до законодавства та адміністративних правил;
- якщо мінітраншея має залишитись відкритою або може ускладнювати рух вночі або за умов низької видимості, дорожні знаки та вказівники повинні бути оснащені додатковими освітлювальними пристроями колір, форма та габарити яких, мають відповідати чинним правилам.

Після відкриття проводиться очистка мінітраншеї:

- видаляється вийнятий ґрунт з країв мінітраншеї;
- видаляються матеріали пошкодженого дорожнього покриття;
- очищується дно траншеї.

ЗПТ або кабелі можуть прокладатись одночасно з риттям або у відкриту раніше мінітраншею.

Відкриття мінітраншеї дозволяє виконувати роботи із застосуванням малогабаритної техніки на вузьких дорогах та з меншою кількістю відходів, що скорочує операційні витрати. Для того щоб відкопати мінітраншею, можна застосовувати нові технології риття, що характеризуються одночасним риттям

траншеї та відсмоктуванням ґрунту насосом, закопуванням та використанням швидкотвердіючих матеріалів для заповнення траншеї (рис. 8.34).



Рисунок 8.34 — Схема організації робіт при застосуванні мінітраншейної технології [8.2]

При одночасному ритті мінітраншеї та прокладанні ЗПТ або ВОК, барабани з ними можуть бути встановлені на борту траншейної машини таким чином, щоб ЗПТ або кабель могли автоматично укладатись у траншею, через відповідну напрямну касету, встановлену позаду фрези траншеєкопача (див. рисунок 8.34). Обладнання та процедури, що застосовуються при цьому мають забезпечувати:

- виконання операції по очищенню мінітраншеї;
- заготовлені труба або кабель мають викладатись та розміщуватись в мінітраншеї по всій довжині;
- у разі наявності перешкод барабан (з ЗПТ або кабелем) може бути знятий з траншеєкопача без обрізання труби, що гарантує поновлення розмотування кабелю без з'єднування окремих кусків труб.

При роздільному (не одночасному) ритті мінітраншеї та прокладанні, ЗПТ або кабелі прокладаються традиційним способом та у відповідності з вимогами, зазначеними в стандартах з прокладання. ЗПТ та кабелі прокладені в траншеї, мають бути змонтовані в послідовності та положенні, в якому вони були встановлені на дні траншеї.

Для запобігання потрапляння в ЗПТ та розповсюдження в ній іноземних речовин, наприклад ґрунту та води, кінці прокладених ЗПТ мають бути захищені спеціальними водонепроникними ковпачками на протязі усіх етапів роботи. Для забезпечення можливості наступного прокладання оптичного кабелю, в кожному ЗПТ має бути встановлений та приєднаний до ковпачка тяговий пристрій (трос, канат або склопруток). При цьому потрібно ретельно контролювати, щоб тяговий пристрій мав достатній запас довжини.

Після прокладання ЗПТ або кабелів, мінітраншея засипається бетоною сумішшю (наприклад: 200 кг/м³ цементу) з відповідними домішками піноутворювача, щоб отримана структура механічно була подібна до ґрунтової основи навколо траншеї. Засипка має задовольняти наступним експлуатаційним вимогам:

-
- об’ємна стабільність;
 - щільне прилягання до стін траншеї та інфраструктури;
 - повне заповнення всього об’єму траншеї;
 - засипка не повинна мати ніякої усадки;
 - час застигання цементного розчину та досягання міцності має бути таким, щоб дорожнє полотно можна було відновити принаймні через 24 годин після засипання;
 - засипка має легко видалятися;
 - засипка має бути високотехнологічною (бетонна суміш має бути стійкою, в’язучою та достатньо рідкою для можливості застосування насосів);
 - засипка має бути достатньо міцною, щоб витримати масу навантаженої вантажівки. З точки зору безпеки руху не припускається будь-яке руйнування або усадки засипки.

Для запобігання переміщення прокладених вручну ЗПТ та кабелів, останні мають бути зафіксовані на дні мінітраншеї за допомогою вантажу або стопорів, які видаляються безпосередньо перед засипанням.

Щоб гарантувати легке знаходження труб або кабелю для можливого майбутнього розриття, вони повинні бути забезпечені наступною ідентифікацією:

- на мережах доступу та транспортній мережі – ідентифікація має бути виконана додаванням відповідних барвників до бетону засипки;
- на транспортній мережі, додатково мають бути забезпечені видимою зовні ідентифікацією у вигляді відповідних знаків, липких етикеток, стрічок, тощо.

Крім того зовні видима ідентифікація повинна бути встановлена:

- у випадках зміни напрямку траси і повинна бути зафіксована якомога ближче до ЗПТ або кабелю;
- на прямих ділянках траси через кожні 300 м;
- поблизу дорожніх перехресть.

Дорожнє полотно має бути відновлене не пізніше, ніж через 24 години після засипання мінітраншеї. Мінітраншея закривається шаром гарячої асфальтної суміші і ущільнюється катком (для доріг з асфальтовим покриттям) або бетоном (для доріг з бетонним покриттям). Для мінітраншеї, відритої на ґрунтових ділянках, верхні 10 см профілю траншеї мають бути засипані вийнятою під час викопування землею відповідного (або приведенного до відповідного) складу.

Підключення до вже існуючих лінійних споруд типу оглядових пристроїв кабельної каналізації, шахт та колекторів має бути здійснено через звичайний котлован приблизно 2 м довжиною, який поступово заглиблюється від глибини мінітраншеї до глибини вводу до існуючих лінійних споруд, щоб забезпечити мінімум ЗПТ та дозволений радіус згину кабелю. ЗПТ та кабелі мають увійти в оглядовий пристрій на відповідній відстані (наприклад, 20 см) від внутрішнього дна оглядового пристрою. Труби повинні закріплюватись бетонним розчином на внутрішній та зовнішній стінах оглядового пристрою. Всередині оглядового пристрою ЗПТ мають бути відокремлені і зафіксовані по горизонталі на відстані 3 – 4 см одна від одної. Одразу після встановлення та фіксації ЗПТ, котлован має бути засипаний та вирівняний.

При перетині існуючих доріг, під якими існують підземні комунікації (наприклад, труби, розміщеними на глибині приблизно 1 м від поверхні дороги), котлован має поступово заглиблюватись до глибини принаймні 2 м. У випадку перетину з кабелями з мідними провідниками, прокладеними безпосередньо в ґрунт, останні мають бути захищені спеціальними трубами по всій довжині перетину.

8.6.2 Мікротраншейна технологія

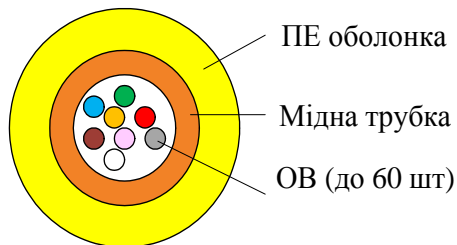
Мікротраншейна технологія [7.15] дозволяє прокладати підземні ВОК на малій глибині (на глибину шару асфальтового або бетонного покриття). Переваги цієї технології перед звичайними – швидкість виконання робіт, більша низька вартість, значне зниження екологічного впливу та обмежене руйнування доріг, і, як наслідок, більш легке отримання дозволу на виконання робіт.

Мікротраншейна технологія може застосовуватись на ділянках з асфальтовим або бетонним покриттям доріг та тротуарів.

Мікротраншея – виконана в асфальті неглибока щілина (оптимально – глибиною до 7 см), але не глибше шару асфальту. Слід запобігати того, щоб щілина пройшла повністю крізь асфальт, оскільки це може спричинити руйнування асфальтового покриття з боків від щілини. У випадках, коли немає бокового захисту на одній або обох сторонах щілини, що запобігало б переміщенню шару асфальту та коли мікротраншея викопана по краю дороги без бордюрів або тротуарів, мікротраншея має бути розміщена в полотні дороги, на відстані 1 м від краю дороги. Ширина щілини може змінюватись від 10 мм до 15 мм залежно від діаметра застосованого кабелю.

Кабель має відповідати вимогам стійкості до температури, яку необхідно застосовувати при запечатуванні кабелю в щілину гарячим асфальтом. Температура асфальту під час запечатування може змінюватись від 100°C до 170° С. Тому ВОК переважно укладають в металевій (наприклад мідній) трубці,

заповненій гідрофобним компаундом, поверх якої накладено ПЕ оболонку. В даний час існують різні типи ВОК із застосуванням різної кількості ОВ та з різними зовнішніми діаметрами (рисуюнок 8.35). Кабель може виготовлятися великими будівельними довжинами. На міських мережах часто зручно використовувати короткі або відповідні довжини, для прокладання на перетинах з дорогами або рейками трамвайних чи залізничних колій.



Рисуюнок 8.35 — ВОК для мікротраншейної технології

Перед прокладанням має бути зроблено обстеження ділянки. Його мета полягає в тому, щоб визначити об'єми робит, що мають бути виконані перед тим, як почнеться прокладання кабелю, тип дорожнього покриття на мостах та перетині з рейками або дорогами. Потім мають бути визначені місця розміщення з'єднувальних муфт. До початку прокладання має бути визначена товщина асфальту, склад дороги або тротуару. Для цього можливе випробувальне буріння.

Мікротраншея виконується механічною фрезою для різки асфальту (рисуюнок 8.36). Швидкість різання залежить від типу застосованої машини. Ділянка не повинна мати змін напрямку під гострими кутами. В місцях, де без зміну напрямку обійтися неможливо, вони мають бути виконані окремими сегментами (рисуюнок 8.37).



Рисуюнок 8.36 — Схема функціональних пристроїв при прокладанні ОК в мікротраншею [8.16].



Рисуюнок 8.37 — Приклад різкої зміни напрямку [8.15].

Після прорізання, щілина очищається водою під тиском, сушиться стислим повітрям та окислюється (гаряча сушка) гарячим повітрям із застосуванням відповідного пальника.

В мікротраншею кабель може прокладатися вручну, з поступовим змотуванням з барабану і укладанням на дно щілини за допомогою роликової вагонетки. При зміні напрямку слід дотримуватися дозволених радіусів вигину ОК. Поверх кабелю в траншеї встановлюється захисна стрічка (наприклад, розвальцьована

поліетиленова стрічка). Захисна стрічка закривається шляхом заповнення вільного простору водоблокуючим матеріалом, наприклад, гумовою стрічкою, розміри якої мають бути дещо більшими за розміри щілини. Кожна стрічка має бути встановлена по місцю за допомогою відповідного ролика (рисунк 8.38).

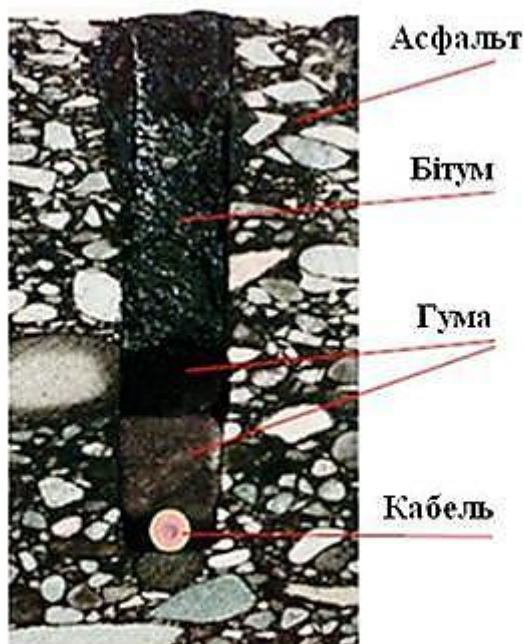


Рисунок 8.38 — Поперечний перетин укладеного в асфальт кабелю [8.17].

Після того, як кабель та захисні стрічки встановлені, щілина має бути закрита гарячим рідким асфальтом. Для гарантованого закриття щілини асфальт має щільно прилягати до стін по всій довжині щілини. Рідкий асфальт має заливатись із застосуванням відповідного розміру насадки. Ця процедура має виконуватись шляхом однорідного заповнення щілини до рівня дорожнього покриття (наприклад, у два проходи). По закінченні зазначених вище процедур усі нерівності, впадини та переливи заповнюючого щілину рідкого

асфальту, мають бути вирівняні (наприклад, за допомогою катка) по всій довжині траси.

Для з'єднання або розгалужування кабелів мають використовуватись спеціальні муфти (рисунк 8.39.). Ці муфти установлюються врівень з поверхнею дороги або тротуару, і мають бути надійно захищені кришкою відповідної міцності. Муфта має бути встановленою в отворі, висвердленому в асфальті за допомогою бура такого діаметру, який забезпечить належне розташування муфти у виготовленому отворі. Для правильного встановлення муфти, глибина отвору має відповідати висоті муфти. По закінченню монтажу, муфта має бути закрита кришкою і запечатана рідким асфальтом. Належна герметичність змонтованої муфти повинна забезпечуватись закриттям кабельних ввідів муфти за допомогою відповідних допоміжних комплектів для герметизації (наприклад, термоусаджувальних трубок).

Якщо кабель, прокладений в мікротраншеї має з'єднуватись з традиційно прокладеним кабелем, використовуються існуючі муфти, встановлені на глибині його залягання, з забезпеченням надійної герметичності усіх кабельних ввідів муфти.

У випадку пошкодження ВОК, за допомогою нового кабелю монтують кабельну вставку. Після локалізації пошкодження із щілини видаляють асфальт, використовуючи відповідний інструмент (наприклад, гак) на довжині

приблизно 3 м в обидві сторони від пошкодження (рисунок 8.40). Потім видаляються захисні стрічки, старий кабель витягується і обрізається так, щоб забезпечити необхідний для монтажу запас. Висвердлюються отвори для двох муфт. Після цього встановлюються муфти і прокладається кабельна вставка. Після закінчення монтажу муфт відновлюють дорожнє полотно, за вказаною вище методикою.

Мікротраншейна технологія прокладання кабелю зазвичай використовується для підключення виділених абонентів до розподільних мереж (підключення до існуючих мереж).

Відгалуження абонентських кабелів від існуючих магістральних кабелів починається з оглядового пристрою або операційної зали, де починаються абонентські лінії, розміщені у звичайній кабельній каналізації. На початку відгалуження, траншея повинна підніматись від рівня каналізації або оглядового пристрою до рівня мікротраншей. У випадку, коли два кабелі необхідно прокласти по двох окремих маршрутах, що відгалужуються від однієї муфти, вони мають бути прокладені по одному маршруту, за винятком ділянки, де розкопки піднімаються до рівня точки підключення. Два окремих маршрути (рознесені принаймні на 1 м) мають прокладатись по окремим мікротраншеям.

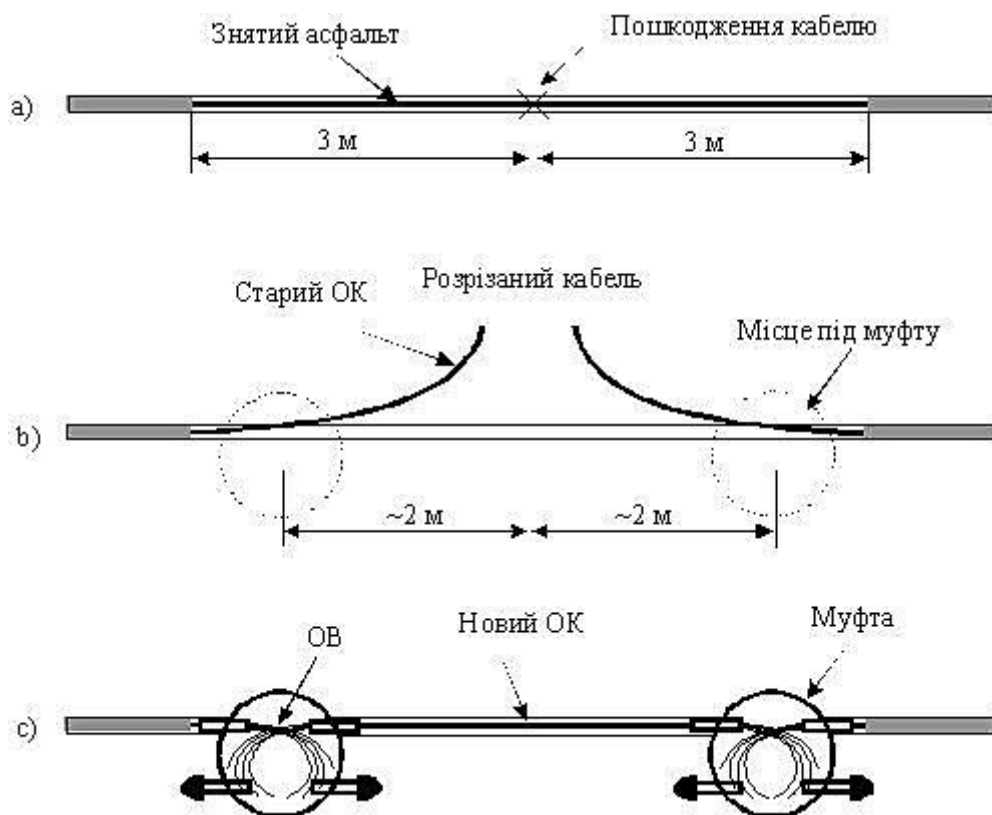


Рисунок 8.40 — Приклад ремонту пошкодженого кабелю [8.15].

Типорозміри мікротрубок та допустимі співвідношення діаметрів мікротрубки та мікрокабелю для задувки наведені в таблиці 8.5.

Таблиця 8.5 — Допустиме співвідношення діаметрів мікротрубки та мікрокабелю.

Типорозмір мікротрубки, мм/мм	Мікрокабель	
	зовнішній діаметр, мм	кількість волокон, шт.
3,0/2,1	~ 1.0	2 - 4
4,0/2,5	~ 1.6	4 - 8
5,0/3,5	~ 2.0	8 - 12
7,0/5,5	~ 3.9	12 - 24
10,0/8	~ 5.2 - 6.6	24 - 72
12,0/10,0	~ 7.0 - 8.0	72 - 96

Примітка. Системи мікротрубок виготовляються з мікротрубками діаметром від 3 мм до 12 мм чисельністю від 1 шт. до 25 шт.

8.6.3 Прокладання в стічній каналізації

Цей метод [8.18] не прописан в нормативній документації на проектування і будівництво в Україні. Однак може бути застосований в окремих ситуаціях, наприклад в котеджних містечках або невеликих селищах, де є один власник інфраструктури і він захоче заощадити на комунальній інфраструктурі.

ВОК можуть прокладатись в доступних та недоступних для людини трубах стічної каналізації, стічних колекторах. Визначення того, чи є труба доступною для людини, залежить від відповідних національних та відомчих норм. Зазвичай, недоступною для людини вважається труба діаметром від 200 мм до 700 мм.

У недоступних для людини каналізаційних трубах прокладання ВОК здійснюється за допомогою роботів. У доступних для людини трубах стічної каналізації прокладання ВОК здійснюється вручну та із застосуванням роботів. У трубах стічної каналізації можуть встановлюватись:

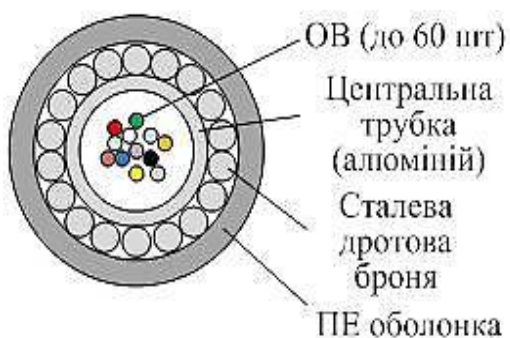


Рисунок 8.41 — ВОК для прокладання в стічній каналізації.

— спеціальні броньовані ВОК, призначені для прокладання безпосередньо в нижній частині стічної труби (рисунок 8.41);

— самонесучі ВОК, призначені для встановлення у верхній частині стічної труби;

— традиційні ВОК або мікрокабелі, призначені для прокладання у захисних каналах (ЗПТ), що попередньо

прокладаються у стічній трубі.

До початку прокладання ВОК розглядається точна інформація про структуру та стан мережі стічної каналізації, в якій мають прокладатись кабельні системи. Стічна каналізація має бути чистою від крупно-габаритного

сміття, структурно цілісною, а труби відповідати умовам функціонування і придатні до прокладання ВОК.

За результатами оцінки визначається статична несуча спроможність стічних труб та їх ремонтна придатність. Також слід перевірити гідравлічну несучу здатність труб через зменшення діаметру секції після встановлення кабелю. Це дозволяє визначити скільки кабелів може бути встановлено в трубі або стічній каналізації. При плануванні кабельних маршрутів слід враховувати досвід оператора мережі стічної каналізації відносно навантаження та стратегічне планування мережі стічної каналізації.

Прокладені кабелі не повинні впливати на роботу стічної каналізації. Кабелі повинні якомога більше прилягати до труби. Використана технологія повинна гарантувати, що стічна труба не буде пошкоджена через прокладання або експлуатацію кабельної мережі. В оглядових пристроях кабелі мають розміщуватись так, щоб не заважати робітникам, організації котра обслуговує каналізаційну мережу, виконувати свої функції.

Щоб уникати утворення високої наведеної напруги та іскріння, яке абсолютно не припустиме у вибухонебезпечних середовищах, таких як система стічної каналізації, ретельно перевіряється та документується система заземлення. Входи та виходи стічної труби, пункти контролю з'єднання між металевими частинами каналізації та кабелем мають бути перевірені, виміряні і задокументовані.

Інфраструктура для ВОК складається із захисного каналу, прикріпленого за допомогою робота до стічної труби спеціальними хомутами з кліпсами – фіксаторами. Всі елементи інфраструктури, мають бути виготовлені з нержавіючої сталі, що гарантує механічний захист в умовах стічної каналізації та захист ВОК від гризунів.

В якості захисних каналів можуть використовуватись гофровані трубки із зовнішнім діаметром 11,5 мм або 15,5 мм.

Гнучкі кабельні лотки можуть застосовуватись для вводу та захисту ВОК, коли захисні канали не можуть пройти через колодязь стічної каналізації та для зберігання запасу ВОК або муфт, встановлених в колодязі.

Інфраструктура, встановлена в стічній каналізації повинна забезпечувати мінімальний дозволений радіус вигину прокладеного в ній ВОК. Призначені для прокладання в стічній каналізації ВОК повинні мати модифіковану ПЕ оболонку.

До початку робіт з прокладання ВОК в недоступних для людини трубах проводиться обов'язковий візуальний огляд стічної труби інсталяційним роботом (рисунк 8.42). Це дає змогу, точно оцінити стан та геометрію секцій стічної труби та підтвердити можливість встановлення кабельних

інфраструктур. При проходженні стічної труби, визначається точне розташування стиків та відгалужень труб, дозволяючи визначити та задокументувати оптимальне положення хомутів з затискачами в стічній трубі.



Рисунок 8.42 — Зйомка відеокамерою внутрішньої частини каналізаційної труби (добре видно прикріплений до верхньої частини труби кабель) [8.19].

Максимальний діаметр кабелю має скласти 70 – 80% від діаметру труби захисного каналу. Наприклад, для вдування в гофрованій сталевій трубі діаметром 11,5 мм максимальний діаметр кабелю має бути 9,2 мм; а для труби діаметром 15,5 мм – 11,5 мм.

Оскільки кабелі розміщується на дні стічної труби, то для робіт з технічного обслуговування та можливого ремонту труб облицювальними матеріалами, слід на дні труби передбачити запас кабелю (рисунок 8.43).

Клейові методи монтажу (установка кабелів або захисних каналів в стічній трубі за допомогою пластмасових з'єднань) не рекомендовані, оскільки не гарантується стійкість клею. Крім того, використання клейових з'єднань вимагає спеціальної підготовки поверхні, після чого нове докладання ВОК або захисних каналів стає неможливим (щоб встановити нові ВОК або захисні канали потрібно видалити старі).

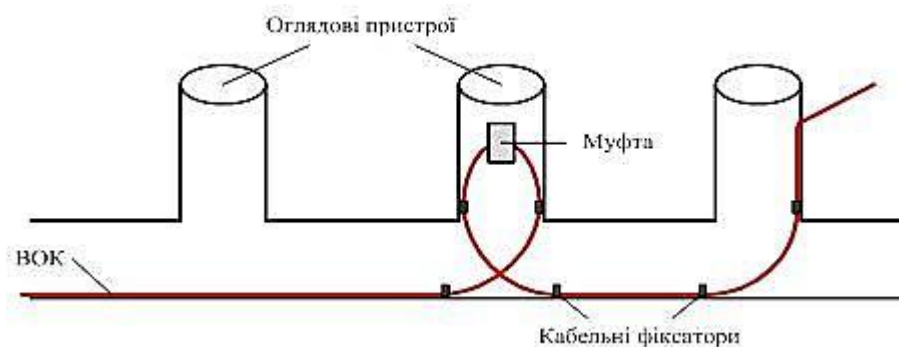


Рисунок 8.43 — Прокладання ВОК в стічній трубі [8.18].

Протягом всього процесу прокладання кабелю слід запобігати впливу підвищеної температури, розтягування та згинів ВОК. Мінімальний радіус згину ВОК не повинен перевищувати 20 діаметрів кабелю в процесі прокладання та 30 діаметрів кабелю протягом всього терміну експлуатації.

Самонесучі кабелі встановлюються у верхній частині стічної труби (рисунок 8.44) і фіксуються арматурою, виготовленою з нержавіючої сталі або іншого корозійно стійкого матеріалу. Таким чином може бути забезпечена

достатня тривалість служби кабелю. Крім того, кабельні муфти також мають бути виготовлені з таких матеріалів як: нержавіюча сталь, алюмінієві сплави або технічна пластмаса. Муфти повинні бути герметичними, водо— та вологонепроникними. Для фіксації ВОК застосовуються такі ж комплекти арматури, що й для підвішування самонесучих ВОК на опорах підвісних ліній зв'язку.

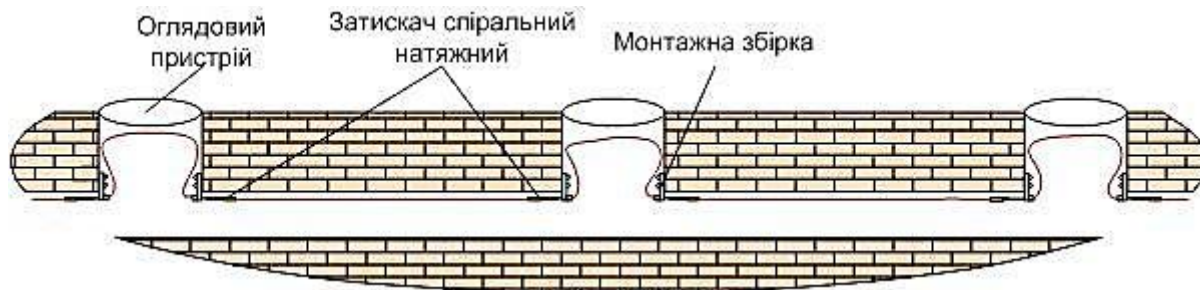


Рисунок 8.44 — Підвішування ВОК в трубах стічної каналізації [8.19].

Вибір методу прокладання ВОК в трубах стічної каналізації здійснюється після аналізу критеріїв, поданих у таблиці 8.2.

Таблиця 8.6 — Порівняння методів прокладання ВОК в трубах стічної каналізації.

Вимога	Броньовані ВОК	ВОК в захисних каналах	Самонесучі ВОК
Відповідність діаметра стічної труби	Немає обмежень	Від 200 мм	Від 300 мм
Позиція в стічній трубі	Низ	Верх	Верх
Візуальний контроль стічної труби перед прокладанням	Необов'язковий	Обов'язковий	Необов'язковий
Обслуговування стічної труби	Планується перед прокладанням	Планується перед прокладанням	Планується перед прокладанням
Ризик блокування	Залежно від рівня води у водному потоці	Ні	Ні
Модернізація оптичної мережі	Дуже складна	Можлива	Можлива
Максимальне число кабелів і волокон	Максимум 1 кабель (до 144 ОВ)	До 9 кабелів (один в кожній гофрованій сталевій трубці)	Максимум два кабелі (до 216 ОВ кожний)
Гнучкість оптичної мережі	Тільки для з'єднань точка – точка	Дуже висока	Середня
Оптична мережа доступу	Ні	Так	Так
Тип кабелю	Спеціально армований	Звичайний	Самонесучий
Вартість прокладання	Низька	Середня	Низька

При використанні традиційних ВОК або мікрокабелів, технологічний запас кабелю та з'єднувальна муфта зберігаються в захисному ящику, розміщеному в оглядовому пристрої так, щоб він не заважав роботі обслуговуючого персоналу.

Кожний ящик має вмістити додаткову довжину кабелю (мінімум 20 м), необхідну для подальшої експлуатації лінії. З'єднувальні муфти можуть також встановлюватись в оглядових пристроях. У випадку монтажу переходу від стічної каналізації до телефонної, краще застосовувати традиційні муфти, що розміщуються в оглядовому пристрої кабельної каналізації.



Рисунок 8.45 — З'єднувальна муфта для монтажу ВОК, що прокладаються в стічній каналізації [8.19].

Для монтажу ВОК використовуються спеціальні корозієстійкі, герметичні муфти (рисунок 8.45), спроможні витримувати високий тиск води. Змонтовані муфти разом з запасом кабелю розміщуються на стінах оглядових пристроїв таким чином, щоб не ускладнювати роботу обслуговуючого персоналу (рисунок 8.46). Розміщення запасу кабелю в оглядовому пристрої має задовольняти потреби клієнтів. Надлишкова довжина кабелю розміщується на стіні оглядового пристрою таким чином, щоб не заважати обслуговуючому персоналу.



Рисунок 8.46 — Розміщення муфти на внутрішній стіні каналізаційного колодязя [8.18].

або безтраншейним способом, шляхом буріння спеціального каналу.

Для підключення абонентів можна використовувати встановлені у будівлі каналізаційні труби, в які ВОК вводиться безпосередньо з житлового стічного колектору. При цьому труби встановлені у будівлі стикуються з трубами

Переходи між оптичною мережею, змонтованою у середині стічної труби та оптичною мережею прокладеною всередині ЗПТ або труб кабельної каналізації, зазвичай здійснюється за допомогою ЗПТ, встановленою між колодязем стічної каналізації та оглядовим пристроєм кабельної каналізації. Ці переходи можуть виконуватись відкритим способом – розриттям траншеї,

стічної каналізації за допомогою сталевий гофрованої трубки. Гофрована трубка, за допомогою просоченого смолою гнучкого фетрового шлангу, вводиться в домашню трубу з боку стічної каналізації. За допомогою гарячого пару або води, шланг притискається до внутрішньої частини домашньої труби, поки не затвердіє. Після цього ВОК може вдуватись із найближчої до будинку муфти.

Перелік посилань до розділу 8

8.1 КНД–45–141–99 Керівництво щодо будівництва лінійно–кабельних споруд волоконно–оптичних ліній зв'язку.

8.2 Optical fibres, cables and systems. ITU–T Handbook. Geneva, 2009. – 299 p.

8.3 Underground Cable Installation Practices. Prysmian Communications Cables and Systems USA – MP–1008. Issue #2. October 2005.

8.4 Каток В.Б., Руденко І.Е. Волоконно-оптичні кабелі зв'язку. – К., Логос, 2013. – 334 с.

8.5 Матеріали електронного журналу <http://www.lightwave.com>

8.6 В. Гриффьєн. Прокладака оптических кабелей в трубках. – Plumettaz SA. – 1993.

8.7 ITU–T Recommendation L.57 Air—assisted installation of optical fibre cables.

8.8 ITU–T Recommendation L.61 Optical fibre cable installation by floating technique.

8.9 Р 45–010–2002 Рекомендації з підвішування оптичних кабелів на опорах повітряних ліній зв'язку, ЛЕП, контактної мережі залізниць. Загальні положення. Загальні технічні характеристики та параметри оптичних кабелів для підвішування.

8.10 Підвішування оптичних кабелів зв'язку. Навчальний посібник / В.Ф. Олійник, Д.О. Соловйов, І.Е. Руденко. – К.: ТОВ “Д.В.К.”, 2004. – 119 с.

8.11 ITU–T Recommendation L.56 Installation of optical fibre cables along railways.

8.12 ITU–T Recommendation L.35 Installation of optical fibre cables in the access network

8.13 МСЭ–Т: Конструкции, прокладка, соединение и защита оптических кабелей связи (Издание 1994). – Женева, 1994.

8.14 ITU–T Recommendation L.48 Mini–trench installation technique.

8.15 ITU–T Recommendation L.49 Micro–trench installation technique.

8.16 В. Каток, А. Ковтун, И. Руденко. Волокно в микротраншее / – Сети и телекоммуникации, №4, 2005. – с. 68–71.

8.17 Corning Cable systems. Mcs® – Micro cabling systems. Волоконно–оптические микрокабельные системы. Кабели связи – Издание 2 сокращённое. Каталог 2000.

8.18 ITU–T Recommendation L.49. Installation of optical fibre cables inside sewer ducts.

8.19 Corning Cable systems. Micro cabling systems. Кабели связи – Издание 1. Каталог 2000.

8.20 ITU–T Recommendation L.89 Design of suspension wires, telecommunication poles and guy-lines for optical access networks.

8.21 СНиП 3.05.06-85 Электротехнические устройства.

9 ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ КОНЦЕПЦІЙ FTTx НА ОПТИЧНИХ МЕРЕЖАХ ДОСТУПУ

9.1 Волокно на мережі доступу

Донедавна мережі доступу будувались виключно на мідних кабелях (симетричних та коаксіальних).

В мережах кабельного телебачення почали застосовувати гібридні волоконно-коаксіальні HFC (Hybrid Fiber/Coaxial) варіанти побудови мереж. Волокно в такій концепції використовувалось на ділянці від центру надання послуг (наприклад телецентру) до певних розподільних вузлів, що з'єднувались волоконно-оптичними кільцями і до вузла доступу, котрий обслуговував абонентів. Далі до користувача був прокладений коаксіальний кабель з використанням підсилювачів сигналу.

Проте зростаючі обсяги трафіку (а кількість абонентів широкопasmового доступу в Україні невпинно збільшується рисунок 9.1) та фізична обмеженість мідного сегменту мереж надавати широкопasmові послуги на значні відстані без регенерації сигналу та зміни структури мідного кабелю, призвели до реалізації застосування оптичного волокна на мережі доступу.

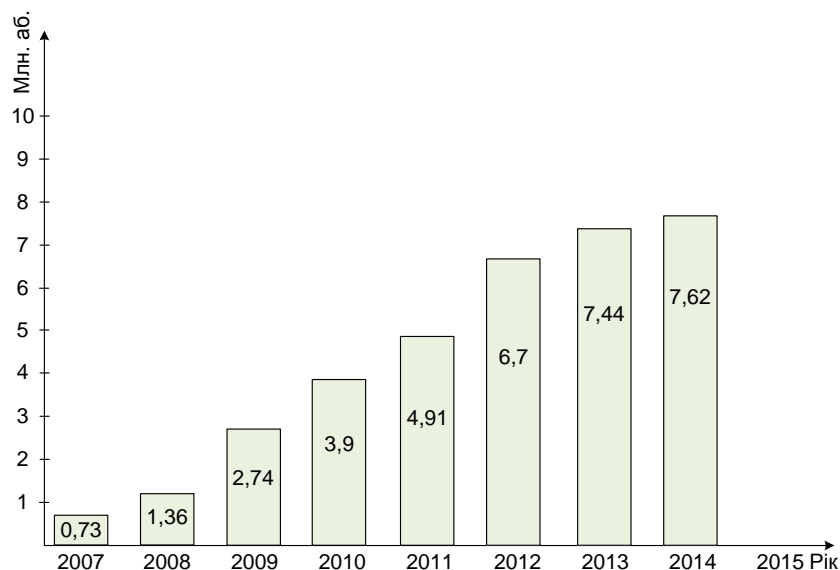


Рисунок 9.1 — Динаміка зростання кількості користувачів послуг широкопasmового доступу iKS-Consulting.

В попередньому розділі вже згадувалось, про оптичні мережі доступу та концепцію FTTx.

FTTx (Fiber To The x – волокно в точку x) - це концепція реалізації будівництва мережі доступу у якій від вузла зв'язку до певного місця (точка «x») доходить волоконно-оптична лінія зв'язку (існує також термін «остання миля»).

В Додатку «А» наведено орієнтовний перелік термінологічних варіантів FTTx.

Узагальнені варіанти розгортання мереж FTTx показано на рисунку 9.1 [9.1].

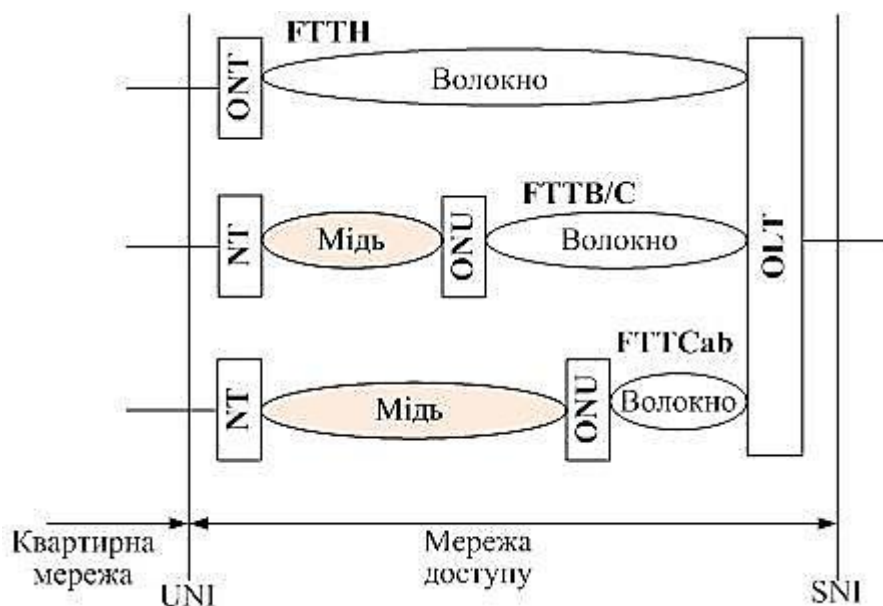


Рисунок 9.2 — Узагальнені варіанти розгортання мереж FTTx [9.1].

На рисунку 9.2 позначені:

ONT – Optical Network Terminal (обладнання закінчення оптичної мережі);

ONU – Optical Network Unit (оптичний мережний блок -модуль);

OLT – Optical Line Terminal (обладнання закінчення оптичної лінії);

NT – Network Termination (Мережне закінчення)

UNI – User Network Interface (інтерфейс користувач-мережа);

SNI – Service Node Interface (інтерфейс вузла послуг);

Проекти будівництва оптичних мереж доступу повинні розроблятися на основі даних служб маркетингу оператора зв'язку згідно з планом продажу послуг по кожному будинку (під'їзду будинку), визначеного житлового району (мікрорайону).

Для абонента, підключеного до оптичної мережі доступу, повинна бути забезпечена технічна можливість надання послуг доступу до широкосмугових (мультимедійних) мереж: Інтернет, телефонії, телебачення, проводового мовлення, оперативного зв'язку та інших слабострумних систем.

9.2 Технологічна реалізація FTTx

Найчастіше, оптичну мережу доступу, за концепцією FTTx реалізують у варіантах архітектури P2P (точка - точка) та PmP (точка - багато точок- з використанням оптичних розгалужувачів). Найбільше поширення на мережах

FTTx набули технології Ethernet для варіанту P2P та PON (Passive Optical Network-пасивні оптичні мережі) для варіанту PmP.

При проектуванні, оптичну мережу доступу поділяють на чотири сегменти, котрі мають свою специфіку стосовно вимог до проектування та будівництва:

- *станційний* – складається з кабелю від пристанційної муфти до кросового обладнання, оптичного кросу з великою щільністю портів та станційного кабелю, що прокладається від оптичного кросу до обладнання вузла доступу;
- *магістральний* – складається з пристанційної муфти, магістрального оптичного кабелю, з'єднувальних муфт та магістральної розгалужувальної муфти;
- *розподільний* – складається з розподільного оптичного кабелю та будинкових (прибудинкових) розподільних муфт;
- *абонентський (будинкова розподільна мережа)* – складається з кабелів, що прокладаються всередині будинків від будинкової (прибудинкової) розподільної муфти до модуля абонентської розетки в квартирі абонента і закінчується шнуром світловодним з'єднувальним у квартирі споживача (внутрішньобудинкова та внутрішньоквартирна частини мережі).

9.2.1 Архітектура P2P

Архітектура точка-точка передбачає виділення кожному користувачу окремого волокна (або пари волокон, в залежності від типу обладнання), по котрому здійснюється двосторонній обмін інформацією, як показано на рисунку 9.3 [9.2].



Рисунок 9.3 — Архітектура точка-точка (P2P) [9.2].

Для економії волокон на магістральному сегменті FTTH мережі з архітектурою P2P, можна:

- розміщувати OLT ближче до концентровано розташованих домогосподарств, що дає змогу зменшити ємність кабелю на магістральному сегменті мережі;
- використовувати «кільцеву» топологію як показано на рисунку 9.4 [9.2].

– використовувати додаткові проміжні комутатори, створюючи топологію «дерево».



Рисунок 9.4 – Кільцева топологія. [9.2]

9.2.2 Архітектура P2mP

Архітектура точка-група точок передбачає використання пасивного пристрою розгалуження (оптичного сплітеру).

Для побудови FTТх мереж з архітектурою P2mP широко застосовуються крім технології PON, GPON (Gigabit-capable - мережа з підтримкою гігабітних швидкостей), XGPON (підтримка 10 гігабітних швидкостей) та WDM-PON, або їх комбінації.

Вибір місця розташування оптичних сплітерів, кількість рівнів розгалуження та коефіцієнти ділення розгалужувачів здійснюється на основі аналізу конкретного завдання на проектування, економічної доцільності та планів розвитку мережі.

При виборі місця розташування розгалужувачів (оптичних сплітерів) існує три загальні підходи, визначені у [9.2] і як показано на рисунку 9.5:

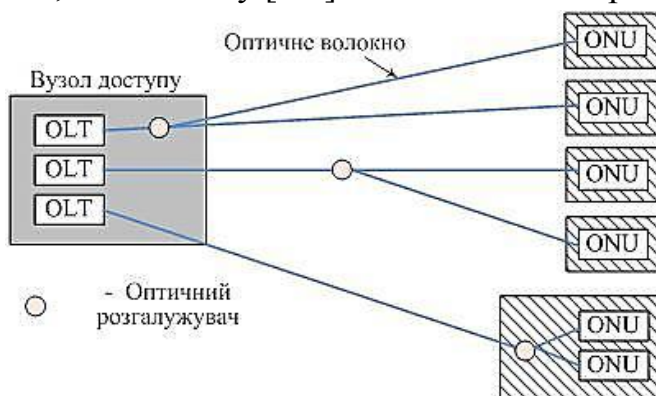


Рисунок 9.5 — Приклади розташування розгалужувачів для архітектури точка-група точок (P2mP) з технологією PON. [9.2]

При варіанті реалізації дворівневого розгалуження використовують два варіанти [9.2], як показано на рисунку 9.6:

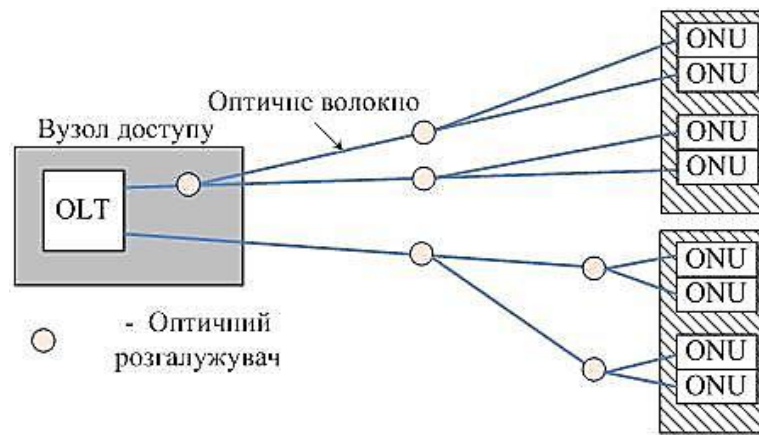


Рисунок 9.6 — Приклади розташування розгалужувачів при застосуванні дворівневого розгалуження для архітектури точка-група точок (P2mP) з технологією PON [9.2].

Застосування проміжних оптичних сплітерів можна використовувати для:

- економії числа кабелів та волокон;
- організації, при топології «кільце» на магістральному сегменті FTТх мережі 100% резервування у випадку пошкодження кабелю на одній з частин кільця.

При будівництві мереж FTТН з архітектурою P2mP, на будинковій розподільчій мережі застосовуються поверхові розподільні бокси, абонентські розетки, поверхові відгалужувачі, з'єднувальні мінімуфти (приклад наведено відповідно на рисунках 9.7 – 9.10), причому для полегшення монтажних робіт рекомендується застосовувати механічні з'єднувачі волокон.

Міні муфта може розміщуватись у захисному коробі в якому прокладається відгалужене ОВ в захисній трубці. Застосування такої міні муфти в комплекті з поверховим відгалужувачем ОВ, наприклад, YPSO на мережах доступу за технологією FTТН дозволяє виконувати відгалуження ОВ від ВОК міжповерхового прокладання без розрізання транзитних волокон.



Рисунок 9.7 — Поверхові розподільні бокси.



Рисунок 9.8 — Модуль з абонентською розеткою

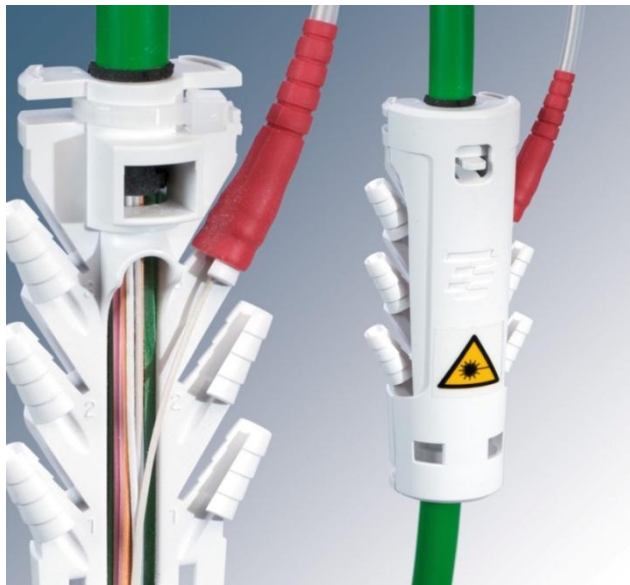


Рисунок 9.9 — Поверховий відгалужувач ОВ.



Рисунок 9.10 — З'єднувальна міні муфта SPLX.

Корпуса боксів, модулів, відгалужувачів та муфт має бути виготовлено з підсиленого пластику малодимного без галогеного.

9.2.3 Оптичний бюджет мереж доступу FTTx

Енергетичний потенціал ВОСП (оптичний бюджет або оптичний баланс) є важливим параметром будь якої оптичної мережі.

Особливо ретельного розрахунку він набуває на FTTH мережах, побудованих за архітектурою P2mP на технології PON, з використанням «шинної» топології та топології «дерево» з надто різною довжиною «гілок».

Енергетичний потенціал ВОСП визначається формулою 9.1:

$$p = p_{\text{вих.}} - p_{\text{вх.}} \geq A_{\Sigma} + P_{\text{зап.}} \text{ [дБ]}, \quad (9.1)$$

де:

P – енергетичний потенціал ВОСП (динамічний діапазон ВОСП), [дБ];

$p_{\text{вих.}}$ – максимальний допустимий рівень оптичної потужності передавача OLT, [дБм];

$p_{\text{вх.}}$ – мінімальний допустимий рівень оптичної потужності на вході приймача ONU, який забезпечує задане співвідношення сигнал/шум [дБм];

A_{Σ} – величина сумарних втрат у ВОСП між OLT та ONU, [дБ];

$p_{\text{зап.}}$ – експлуатаційний запас (враховуючи величину «штрафу за оптичний шлях»), [дБ].

Експлуатаційний запас передбачає збільшення величини сумарних втрат оптичної потужності в лінії в наслідок старіння ОВ, появи кабельних вставок (аварії на ВОК) та додавання точок розгалуження в наслідок появи нових споживачів. Величина експлуатаційного запасу визначається конкретним проектом та планом розвитку мережі, але не може бути меншою за 4 дБ.

Значення величин $p_{\text{вих.}}$ та $p_{\text{вх.}}$ для інтерфейсу волоконно-оптичної системи передавання (ВОСП) визначається параметрами конкретного обладнання, але не можуть бути гіршими, чим це визначено в параметрах інтерфейсів, описаних у відповідних (для обраної технології ВОСП, що проектується) рекомендаціях ITU-T серії G.

Величина сумарних втрат (A_{Σ}) для архітектури P2P з технологією Ethernet визначатиметься відповідно до формули 9.2 [9.3].

$$A_{\Sigma} = \alpha L + N_3 A_3 + 2A_p \text{ [дБ]}, \quad (9.2)$$

де:

α – коефіцієнт загасання оптичного кабелю (за паспортом на ВОК на заданій довжині хвилі), [дБ/км];

L – довжина лінії за даними рефлектометрії, [км];

N_3 – кількість зварних з'єднань ОВ;

A_3 – величина втрат на зварному з'єднанні – зварі (номінальне значення), [дБ];

A_p – величина втрат на рознімному з'єднанні, [дБ].

Величина сумарних втрат для архітектури P2mP за технологією PON обчислюється за формулою 9.3:

$$A_{\Sigma} = (l_1 + \dots + l_n)\alpha + N_p A_p + N_3 A_3 + (A_{\text{раз } i} + A_{\text{раз } m}), \text{ [дБ]}, \quad (9.3)$$

де:

l_i – довжина i -ї ділянки лінії, [км];

n – кількість ділянок;

α – коефіцієнт загасання оптичного кабелю, [дБ/км];

N_p – кількість рознімних з'єднань;

A_p – величина середніх втрат в рознімному з'єднанні, [дБ];

N_z – кількість зварних з'єднань;

A_z – величина середніх втрат в зварному з'єднанні, [дБ];

m – кількість розгалужувачів;

$A_{paz i}$ – величина середніх втрат в i -му розгалужувачі, [дБ].

При використанні технології WDM-PON також необхідно додати величину втрат на оптичному WDM мультиплексорі.

При використанні в лінійному тракті атенюаторів потрібно додати величину втрат на них.

Визначення втрат багатопортового розгалужувача за різних коефіцієнтів ділення обчислюють за формулою 9.4:

$$A_i = 10 \lg \left(\frac{100\%}{D\%} \right) + \log_2(N-1)0,4 + 0,2 + 1,5 \lg \left(\frac{100\%}{D\%} \right) \text{ [дБ]}, \quad (9.4)$$

де:

D_i – процент рівня оптичної потужності, що виводиться в конкретний порт, [%];

N – кількість вихідних портів розгалужувача;

i – номер вихідного порту розгалужувача.

Визначення енергетичного потенціалу ВОСП для архітектури P2mP з технологією PON проводять в такій послідовності:

- обчислення сумарних втрат для кожної гілки, без врахування втрат в розгалужувачах;
- визначення коефіцієнтів ділення кожного розгалужувача (почергово, починаючи з найвіддаленіших);
- розрахунок енергетичного потенціалу для кожного абонентського терміналу з врахуванням в усіх елементах системи і порівнюють його з енергетичним потенціалом системи в цілому.

Вимірювання величини загасання проводять за методикою, наведеною у [9.3] та [9.4].

При розрахунку оптичного бюджету треба враховувати послуги, які надаватимуться споживачам та параметри обладнання (максимальний рівень потужності вихідного сигналу та мінімальний рівень потужності сигналу на вході приймача).

Перелік посилань до розділу 9

9.1 G.984.1 (03/2008) Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою гігабітних швидкостей передачі: Основні характеристики)

9.2 L.90 (03/2012) Optical access network topologies for broadband services (Топології оптичних мереж доступу для широкосмугових послуг)

9.3 КНД-45-141-99 «Керівництво щодо будівництва лінійних споруд волоконно-оптичних ліній зв'язку»

9.4 КНД-45-113-98 «Загасання в одномодовій волоконно-оптичній елементарній кабельній секції. Методика вимірювань»

10 ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ

В цьому розділі наведено дуже стислий огляд основних технологій котрі застосовуються на оптичних мережах.

Починаючи з 2000-х років міжнародний союз електрозв'язку ITU-T затвердив низку рекомендацій серії Y, починаючи з Y.2001, котрі регламентують вимоги до технологій мереж зв'язку.

Концепція побудови мереж зв'язку описана в цих рекомендаціях називається NGN (Next Generation Network) – мережа наступного покоління.

Відповідно до цієї концепції мережа наступного покоління має використовувати такі технології зв'язку в ВОСП котрі би відповідали наступним характеристикам [10.1]:

- передача з пакетною комутацією;
- розподіл функцій керування між пропускнуою здатністю каналу-носія, викликом/сеансом, а також додатками/послугами;
- розв'язка між наданням послуг транспортування та наданням відкритих інтерфейсів;
- підтримка широкого спектру додатків та механізмів на основі уніфікованих блоків обслуговування (включно з послугами в реальному масштабі часу, в потоковому режимі, в автономному режимі, та мультимедійні послуги);
- можливості ширококутної передачі даних з кінця в кінець (наскрізна) з функцією QoS (Quality of Service – якості обслуговування);
- взаємодія з існуючими мережами за допомогою відкритих інтерфейсів¹⁰;
- універсальна мобільність (можливість користувача постійно отримувати послуги при зміні фізичного місця перебування);
- необмежений доступ користувачів до різних постачальників послуг;
- різноманітність схем ідентифікації;
- єдині експлуатаційні характеристики для однієї і тієї ж послуги з точки зору користувача;
- зближення послуг між фіксованим і мобільним зв'язком;
- незалежність пов'язаних з обслуговуванням функцій від основних транспортних технологій;

¹⁰ *Інтерфейс від Interface – поверхня розділу, перегородка. Під інтерфейсом розуміють сукупність апаратно-програмних засобів параметрів та правил взаємодії між елементами системи. Також термін інтерфейс визначається як – електрична, електронна або оптична система з, або без програмного забезпечення, що дозволяє з'єднання, взаємодію та обмін сигналами заданої форми між обладнанням, підключеним через цей інтерфейс відповідно до певної технічної специфікації;*

-
- підтримка різних технологій «останньої милі»¹¹
 - сумісність з усіма нормативними вимогами, наприклад у відношенні зв'язку в надзвичайних ситуаціях, безпека, конфіденційність, законного перехоплення і т.д.

Під забезпеченням всього спектра послуг, на мережах побудованих з концепцією NGN розуміють забезпечення можливості надання абонентам послуг Triple-Play (маркетинговий термін що означає можливість одночасного надання трьох послуг: передача мови, даних і відео).

Для реалізації концепції NGN обладнання мереж побудованих за різними технологіями має взаємодіяти для забезпечення передачі трафіку.

Опис процедур взаємодії мережеских протоколів і обладнання при об'єднанні різних мереж здійснюється відповідно до певної моделі.

Модель OSI

Еталонна модель «Взаємодії Відкритих Систем» OSI (Open System Interconnection) була запропонована у 1983 році Міжнародною організацією зі стандартизації (ISO – International Organization for Standardization) для опису процесів взаємодії обладнання в мережі.

Модель визначає лише схему виконання задач. А опис виконання таких задач відбувається вже в конкретних мережеских протоколах та правилах

Головний принцип моделі OSI полягає в тому, що процеси в кожному мережескому обладнанні і системі розбиваються на сім рівнів кожен з яких в будь-якому обладнанні і системі має працювати однаково, що є гарантією їх успішної взаємодії в мережі.

Всього модель OSI має сім рівнів:

1. Фізичний (Physical)
2. Канальний (Data Link)
3. Мережний (Network)
4. Транспортний (Transport)
5. Сеансовий (Session)
6. Представницький (Presentation)
7. Прикладний (Application)

Кожен нижчий рівень в моделі надає вищому рівню певні послуги для передавання інформації. При цьому важливою є взаємодія однакових рівнів приймача та передавача, котра забезпечує передавання інформації між абонентами.

При проходженні кожного рівня, до передаваних даних додається службова інформація. Цей процес називається інкапсуляцією. Аналогічно при

¹¹ Під терміном «остання миля», котрий поширений в закордонній літературі, розуміють мережу доступу включно з будинковими розподільчими мережами.

прийомі даних відбувається декапсуляція, при цьому зчитуємі дані службової інформації видалятимуться.

Фізичний рівень:

Фізичний рівень забезпечує процес передавання інформації середовищем передавання (кабелі, ефір, тощо) між вузлами мережі та засобами формування в ній каналів.

Фізичний рівень відповідає за передавання інформації від точки входу до точки виходу каналів.

Фізичний рівень визначає електротехнічні, механічні, процедурні і функціональні характеристики активації, підтримки та дезактивації фізичного каналу між прикінцевими системами.

Специфікації фізичного рівня визначають характеристики (параметри) сигналу, швидкість передавання інформації, максимальну відстань передавання інформації, фізичні з'єднувачі та інші подібні характеристики.

Канальний рівень (рівень ланцюгу даних):

Канальний рівень забезпечує передавання даних через фізичний канал з заданою достовірністю (тобто відповідає за безпомилкове передавання інформації). Канальний рівень виконує функцію фізичної адресації, визначає топологію мережі, повідомляє про несправності та доставку інформації.

Мережний рівень:

Мережний рівень відповідає за процес ідентифікації кінцевих отримувачів інформації.

Мережний рівень забезпечує можливість з'єднання та вибір маршруту між прикінцевими системами. За допомогою протоколів маршрутизації визначає оптимальний шлях для передавання інформації в мережі.

Транспортний рівень:

Транспортний рівень виконує завдання з транспортування даних через мережу. Забезпечує механізми встановлення, підтримки та ліквідації віртуальних каналів.

Транспортний рівень відповідає за послідовність передавання повідомлень.

Сеансовий рівень:

Сеансовий рівень встановлює та завершує сеанси взаємодії між прикладними задачами. Сеансовий рівень синхронізує взаємодію між об'єктами представницького рівня та керує обміном інформації між ними. Окрім цього, сеансовий рівень надає засоби для відправлення інформації, класу послуг та повідомлення про проблеми сеансового, представницького та прикладного рівня.

Представницький рівень:

Представницький рівень забезпечує представлення інформації повідомлення у форматі прийнятому для даного користувача на прийомі і у форматі прийнятому в системі на передачі.

Представницький рівень відповідає за сприйняття інформації отриманої від прикладного рівня однієї системи прикладним рівнем іншої системи (забезпечує представлення інформації у потрібному форматі) та за дотримання структури даних, що передаються у прикладний рівень.

Прикладний рівень:

Прикладний рівень синхронізує спільно працюючі процеси прикладного рівня та забезпечує отримання користувачем отриманої інформації у потрібній користувачу формі.

Прикладний рівень визначає достатність ресурсів для майбутнього з'єднання, ідентифікує та встановлює наявність партнера для зв'язку, узгоджує процедури ліквідації помилок та керування цілісністю інформації.

В якості прикладу і в загальній формі, протоколи та обладнання, що працює на різних рівнях моделі OSI, показано на рисунку 10.1

Рівень моделі OSI	Приклад протоколів				Приклад обладнання
Прикладний рівень	POP3	FTP	Telnet	SIP	Термінальні пристрої (ПК, мобільні телефони, тощо)
Представницький рівень	SLL				
Сеансовий рівень	H.245				
Транспортний рівень	TCP		UDP		
Мережний рівень	IP				Маршрутизатори
Канальний рівень	Ethernet	Wi-Fi	WiMAX		Мережна карта ПК, мережні пристрої
Фізичний рівень	Тип модуляції, біти інформації, параметри інтерфейсів				Рознім, середовище розповсюдження інформації, мережні пристрої

Рисунок 10.1 — Протоколи та обладнання, що працює на різних рівнях моделі OSI.

Модель TCP/IP

Модель TCP/IP має також назви модель DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) або модель DoD (Department of Defense) оскільки організація DARPA працювала на це відомство.

Модель TCP/IP розроблялась для опису стеку протоколів TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol – Протокол Керування Передачею/Інтернет Протокол), що було повинно підвищити надійність роботи пристроїв поєднаних в телекомунікаційну мережу.

Теоретичні основи моделі були розглянути у 1973-74 роках, а вже у другий половині 70-х років минулого сторіччя відбулась практична реалізація цієї моделі.

В цій моделі TCP відповідає за розділення повідомлення на дейтаграми на боці передавача, та їх поєднання і виявлення помилок та відновлення порядку пакетів на боці приймача, а IP відповідає за маршрутизацію дейтаграм.

Модель TCP/IP складається з чотирьох рівнів:

1. Прикладний рівень (Application)
2. Транспортний рівень (Transport)
3. Рівень між мережної взаємодії взаимодействія (Internet)
4. Рівень мережного інтерфейсу (Network Interface)

Рівні моделей OSI та TCP/IP не співпадають. Тому відповідність їх функцій можна визначити лише приблизно:

Рівні моделі OSI	Рівні моделі TCP/IP
7. Прикладний (Application)	1. Прикладний рівень (Application)
6. Представницький (Presentation)	
5. Сеансовий (Session)	
4. Транспортний (Transport)	2. Транспортний рівень (Transport)
3. Мережний (Network)	3. Рівень між мережної взаємодії (Internet)
2. Канальний (Data Link)	4. Рівень мережного інтерфейсу (Network Interface)
1. Фізичний (Physical)	

Рівні моделі TCP/IP виконують наступні функції:

Прикладний рівень

На прикладному рівні TCP/IP визначаються процедури організації взаємодії прикладних процесів (програм) різного мережного обладнання та форми подання інформації за такої взаємодії.

Прикладний рівень включає всі протоколи високого рівня: TELNET, FTP, HTTP, SMTP, DNS, POP3, тощо.

Транспортний рівень

Транспортний рівень забезпечує передачу і прийом переданої інформації за допомогою протоколів TCP (Transmission Control Protocol – протокол

керування передачею) та UDP (User Data Protocol – протокол даних користувача).

При цьому протокол UDP доставляє дейтаграми без встановлення з'єднання і не гарантує їх доставки. Протокол TCP забезпечує надійну доставку байтових потоків (сегментів) із попереднім встановленням транспортного дуплексного з'єднання (віртуального каналу) між обладнанням. Для розв'язання транспортних завдань протоколи TCP та UDP при передачі даних формують і додають до даних свої заголовки.

Кожен прикладний процес взаємодіє з модулем транспортного рівня TCP або UDP через окремий порт, що дозволяє при взаємодії систем однозначно ідентифікувати прикладні процеси.

Рівень між мережної взаємодії

Рівень між мережної взаємодії за допомогою Інтернет протоколу (IP) виконує маршрутизацію інформації котра передається і є основою всієї архітектури моделі TCP/IP.

При цьому протокол IP підтримуючи IP-адресацію мереж та вузлів, використовує таблицю маршрутизації пакетів, виконує, за необхідності, фрагментацію та дефрагментацію цих пакетів.

Рівень мережного інтерфейсу

Рівень мережного інтерфейсу відповідає за відправку IP пакетів в мережу. Функціонування рівня мережного інтерфейсу також забезпечує низка протоколів динамічної маршрутизації RIP, OSPF, які динамічно формують маршрути таблиці маршрутизації за алгоритмами вектора VDA (Vector Distance Algorithm) і стану зв'язку LSA (Link State Algorithm) відповідно; протоколів політики зовнішньої маршрутизації EGP (Exterior Gateway Protocol), BGP (Border Gateway Protocol) тощо.

Трирівнева модель

Рівні моделей OSI та TCP/IP розглядають мережу як сукупність простих задач котрі згруповані по типу дій, що в них вирішуються, на кожному мережному рівні моделі.

На відміну від цього, компанією Cisco було запропоновано модель де мережа розглядалась не як сукупність рівнів де вирішуються певні задачі по взаємодії мережного обладнання, а як сукупність рівнів де встановлене обладнання з однаковими функціями. Таким чином кожен рівень такої моделі незалежний від інших рівнів.

Модель компанії Cisco має три рівня і тому називається також «Трирівнева модель»:

1. Центральний рівень (рівень ядра) (Core)
2. Розподільчий рівень (рівень робочих груп) (Distribution)

3. Рівень доступу (Access)

Загальна ілюстрація трирівневої моделі показана на рисунку 10.2.

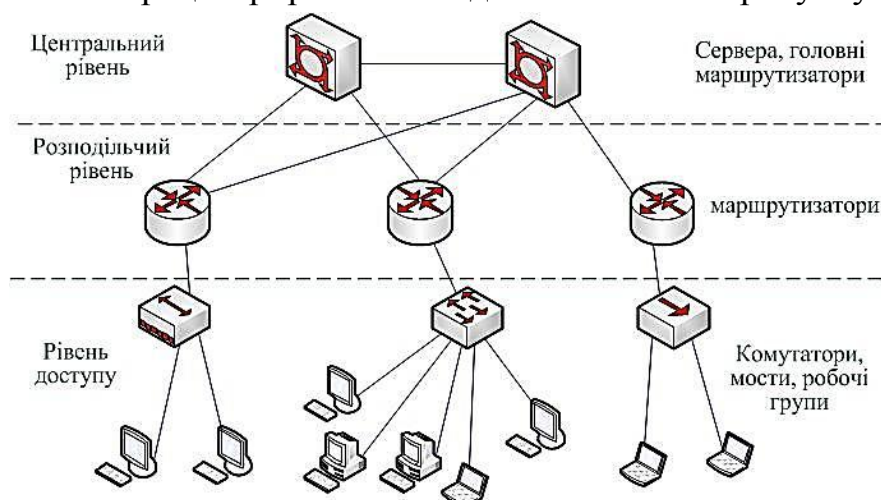


Рисунок 10.2 — Ілюстрація трирівневої моделі.

Центральний рівень (рівень ядра)

Центральний рівень має забезпечувати швидке та надійне транспортування трафіку. Будь яка відмова на цьому рівні можуть відзначитись на всіх користувачах підключених до мережі. Основні показники цього рівня це швидкість транспортування трафіку та час затримки при маршрутизації. Тому їх в першу чергу необхідно враховувати при проектуванні мережі, виборі технології транспортування трафіку в мережі та відповідних протоколів взаємодії елементів мережі.

Розподільчий рівень

Розподільчий рівень повинен забезпечити маршрутизацію трафіку та доступ до елементів мережі центрального рівня. На цьому рівні формується політика доступу до мережі.

На цьому рівні формуються списки доступу, фільтрація та черговість в пріоритеті доступу. Виконується маршрутизація як статична так і між віртуальними локальними мережами

Рівень доступу

Рівень доступу забезпечує доступ та здійснює контроль за доступом користувачів та отримувачів телекомунікаційних послуг і їх робочих груп. На цьому рівні створюються домени колізій і фільтрація.

10.1 SDH

При передачі інформації використовують аналогові або цифрові сигнали.

Аналоговий сигнал – сигнал даних, сигнал, що безперервно змінюється за амплітудою і у часі.

Цифровий сигнал – сигнал даних, що описується дискретною функцією в часі і має кінцеву та обмежену кількість можливих значень квантованих за

рівнем (дискретний – складений з окремих частин; переривчастий, квантований – розділений з діапазону значень безперервної або дискретної величини на кінцеве число інтервалів) як показано на рисунку 10.3.

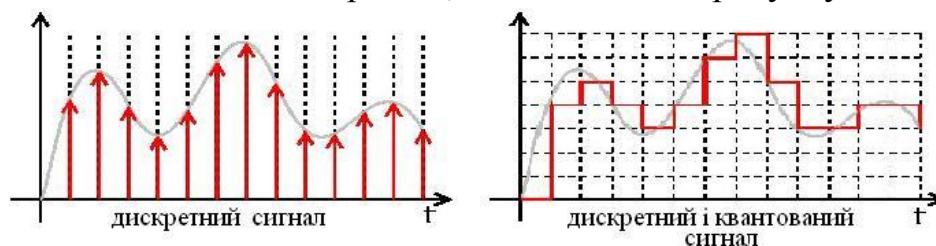


Рисунок 10.3 — Цифровий сигнал.

Будь-який безперервний (аналоговий) сигнал $S(t)$ може бути представлений у цифровій формі після його дискретизації за часом і квантуванням за рівнем. Якщо частота дискретизації сигналу F_d не менше, ніж подвоєна найвища частота в спектрі сигналу F_{max} (тобто $F_d \geq 2F_{max}$), то отриманий дискретний сигнал $S(k)$ буде еквівалентним сигналу $S(t)$ і перетворивши сигнал $S(t)$ в сигнал $S(k)$ на одній стороні лінії передачі можна буде здійснити зворотне перетворення на іншій.

Для передачі голосового сигналу достатньо смуги $0,3 \div 3,4$ кГц (це діапазон каналу тональної частоти (КТЧ)). Отже величина $2F_{max}$ буде дорівнювати 6,8 кГц, котру округляють до 8 кГц для врахування не ідеальності елементів обладнання дискретизації і квантування.

Процес перетворення аналогового сигналу в цифровий відбувається під час імпульсно-кодовій модуляції (ІКМ – (PCM) Pulse Code Modulation) з 8 розрядними кодовими комбінаціями. Відповідно для перевodu 8 кГц сигналу в цифровий потрібен канал $8 \cdot 8 = 64$ кбіт/с (Основний цифровий сигнал).

Основний цифровий сигнал є базовим сигналом для формування вихідних потоків в цифрових системах передачі. Наприклад поєднання 32 основних каналів дає вихідний сигнал у 2048 кбіт/с, так званий сигнал E1. В сигналі E1 30 канальних інтервалів використовуються для передачі інформації, а 2 для передачі службової інформації (сигнали синхронізації, тощо).

Мультиплексування (об'єднання кількох сигналів в один) відбувається поєднанням сигналів E1 ($2,048$ Мбіт/с ± 102.4 біт/с), відповідно 4E1 створюють сигнал E2 ($8,448$ Мбіт/с ± 253.4 біт/с), 4E2 створюють сигнал E3 ($34,368$ Мбіт/с ± 688 біт/с), а 4E3 створюють сигнал E4 ($39,264$ Мбіт/с ± 2089 біт/с) з відповідною помноженою швидкістю передачі котрі є вихідними сигналами PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) – плезіохронна (майже синхронна) цифрова ієрархія.

Технологія SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – синхронна цифрова ієрархія, розроблена як логічне продовження технології PDH. В якості сигналів

SDH використовуються також фіксовані значення сигналів 155,52 Мбіт/с ± 3111 біт/с; 622,08 Мбіт/с; 2488,32 Мбіт/с; 9953,28 Мбіт/с; 39813,12 Мбіт/с).

Вхідні сигнали ряду PDH об'єднуються у віртуальні контейнери, що мають заголовок і мультиплексуються у STM-1 (Synchrous Transport Module) (синхронний транспортний модуль першого рівня ієрархії SDH), котрий відповідає вхідному сигналу SDH 155,52 Мбіт/с. Так само інші вхідні сигнали SDH мультиплексуються у синхронні транспортні модулі вищих рівнів $4\text{STM-1} = 1\text{STM-4}$; $4\text{STM-4} = 1\text{STM-16}$; $4\text{STM-16} = 1\text{STM-64}$; $4\text{STM-64} = 1\text{STM-256}$. Це відповідає вхідним сигналам SDH 622,08 Мбіт/с; 2488,32 Мбіт/с; 9953,28 Мбіт/с та 39813,12 Мбіт/с відповідно.

Відхилення швидкості в даному випадку вказані згідно з рекомендацією ITU-T G.703. Відхилення швидкостей для інших вхідних сигналів нормується в рекомендаціях ITU-T G.825; G.813 і залежить від типу генераторного обладнання синхронізації. Вказана величина відхилення для сигналу 155,52 Мбіт/с за рекомендацією ITU-T G.703 відповідає другому типу за рекомендаціями ITU-T G.825; G.813.

Технологія SDH здійснює пряме мультиплексування (введення/виведення) компонентних потоків, що забезпечує швидкий і легкий доступ до індивідуальних компонентних потоків з метою їхнього введення/виведення і комутації та передбачає розміщення в циклі передачі (фреймі) службової інформації для маршрутизації потоків, контролю і керування мережами. Отже сигнал STM-1 може бути сформований шляхом мультиплексування або як сигналів E1 або як із інших сигналів PDH.

STM містить в собі блок даних та інформаційні поля і підзаголовки секції (SOH, Section Overhead), котрі поєднані в блочну циклову структуру з інтервалом передачі в 125 мкс як показано на рисунку 10.4 (порядок передачі кожного ряду – з ліва на право, після передачі останнього байту в кадрі починається передача наступного циклу, в мережах SDH, термін секція (section) відноситься до каналу між двома послідовно з'єднаними модулями SDH обладнання одного типу).



Структура циклу STM-N відповідно до ITU-T G.707

Рисунок 10.4 — Структура циклу STM-N

Інформація предзаголовку SOH (Section Overhead) додається до корисного навантаження для створення модулю STM-N. Вона містить в собі інформацію про створення циклу блоку та інформацію для технічного обслуговування, спостереженням за показниками якості та інші експлуатаційні функції. Інформація SOH також поділяється по класам підзаголовків регенераційної секції (RSOH, Regenerator Section Overhead), котрий завершується на функціях регенератора, та на предзаголовках мультиплексної секції (MSOH, Multiplex Section Overhead), котрий наскрізно проходить крізь регенератори і завершається в секції мультиплексування/демультиплексування.

Керування SDH мережами базується на контролі цифрових параметрів типу коефіцієнта помилок за бітами (BER), коефіцієнта секунд з помилками (ESR), коефіцієнта секунд зі значними помилками (SESR), котрі виміряні на електричному рівні (в 3R регенерації) як описано в рекомендації G.826.

В технології SDH реалізовано принцип TDM (Time Division Multiplexing) (часове розділення каналів), за котрим кожне вхідне повідомлення від різних користувачів має свій проміжок часу для передачі (комутація каналів).

Технологія SDH описана рекомендаціями ITU-T: G.691; G.693; G.707; G.774; G.780; G.781; G.783; G.784; G.803; G.805; G.813; G.825; G.826; G.829; G.841; G.842; G.957; M.1301; M.2101, а також частково – в доповненні G.Sup39.

Технологія SDH на сьогодні є базовою технологією транспортних мереж зв'язку.

Однак розвиток інформаційних технологій вимагає передачі все більших обсягів даних, причому з трафіком котрий як правило являє собою пакети змінної довжини, що відповідно вимагає упаковувати такі пакети в віртуальні контейнери, котрі відповідають нормам SDH, що заважає динамічно перерозподіляти пропускну здатність каналів між абонентами мережі.

Для вирішення проблеми роботи SDH з даними Ethernet мереж було розроблено низку механізмів:

- узагальнена процедура формування кадрів (generic framing procedure GFP). Процедура GFP (Generic Framing Procedure – основна процедура фреймування), відповідно до рекомендації ITU-T G.7041/Y.1303, розроблена для забезпечення спільного механізму адаптації трафіку користувача, що передається крізь транспортну мережу з верхніх рівнів моделі перед тим як він вводиться в корисне навантаження циклів (фреймів) SDH.
- віртуальна конкатенація (Конкатенація (об'єднання) – операція склеювання об'єктів лінійної структури) (virtual concatenation – VCAT) котра здійснює функцію віртуального зчіплювання контейнерів що передаються відповідно до рекомендацій ITU-T G.707,

G.783. Використання цієї функції в кілька разів збільшує ефективність транспортування трафіку Ethernet через мережу SDH.

– схема підлаштування пропускної здатності лінії (link-capacity-adjustment scheme – LCAS) котра оптимізує смугу передачі в лінії відповідно до рекомендації ITU-T G.7042/Y.1305.

10.2 xWDM

Сучасні мережі SDH (Synchronous Digital Hierarchy - синхронна цифрова ієрархія), побудовані на базі TDM (Time Division Multiplexing часове розділення каналів), дійшовши до швидкості передавання 10 Гбіт/с, зіштовхнулися з проблемами хроматичної і та поляризаційної дисперсії моди, котрі на швидкості, вищій за 10 Гбіт/с, починають суттєво впливати на якість зв'язку(зростає коефіцієнт помилок). Таким чином, розширення пропускної здатності ВОСП за допомогою TDM виявляється досить проблематичним.

У технології WDM немає багатьох обмежень і ускладнень, властивих технології TDM. Для підвищення пропускної здатності ліній зв'язку замість збільшення швидкості передачі у оптичному каналі, як це робиться в системах TDM, в системах WDM йдуть шляхом збільшення числа каналів котрі передаються на різних довжинах хвиль, що застосовуються у системах передачі.

Для систем WDM неважливий формат даних, що передаються у груповому сигналі. На відміну від SDH сигнал, що транспортується в груповому потоці WDM систем, не піддається пакуванню в контейнери, тому в груповому потоці WDM можна безпосередньо передавати різномірний за форматом трафік. А отже оптичне середовище передавання є «прозорою трубою» для сигналів з будь-яким форматом. Спрощено це можна зобразити, наприклад, таким чином (Рисунок 10.5).



Рисунок 10.5 — WDM та формати даних.

Відмінність WDM від TDM, котра реалізується в сучасних SDH системах, можна проілюструвати рисунком 10.6:

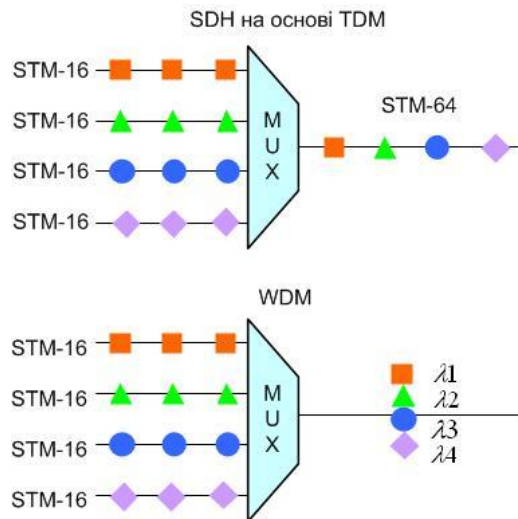


Рисунок 10.6 — Відмінність WDM та TDM

Тобто, технологія TDM стає додатком до технології WDM.

Технологія WDM дозволяє суттєво збільшити пропускну здатність ВОСП, дає можливість організувати двосторонню передачу даних по одному волокну, причому нарощування пропускної здатності може відбуватись на вже існуючому волоконно-оптичному кабелі.

У системі WDM сигнали різних довжин хвиль, що генеруються одним (з перестроюванням) або декількома оптичними передавачами, поєднуються оптичним (хвильовим) мультиплексором у багатохвильовий груповий оптичний сигнал, що поширюється далі по одномодовому ОВ. За великої довжини волоконно-оптичної лінії в'язку в ній встановлюється один або кілька оптичних підсилювачів (ОП). Оптичний (хвильовий) демультимплексор виділяє з групового оптичного сигналу вихідні хвильові канали і спрямовує їх на відповідні фотоприймачі. На проміжних вузлах у лінії або мережі зв'язку деякі оптичні канали можуть бути додані або виділені з групового оптичного сигналу за допомогою OADM (Optical Add Drop Multiplexer - оптичного мультиплексору введення/виведення).

Технологія WDM широкому смислі терміну, розповсюджена у вигляді чотирьох типів:

- власне системи з спектральним (хвильовим) розділенням каналів – WDM (наприклад λ_1 , λ_2 , λ_3 відповідно 1310, 1550, 1490, 1625 нм);
- системи з нещільним (грубим) спектральним розділенням каналів CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing);
- системи з щільним спектральним розділенням каналів DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing);
- системи з надщільним спектральним розділенням каналів – HDWDM (H- High – над вище).

Існують системи WDM як на великі відстані Long Haul (для магістральних ВОСП) так і на міській, внутрішньо-зоновій (Metro) WDM системи. Найпростіша WDM використовується на оптичних мережах доступу.

Технологія CWDM, завдяки меншій ємності, знаходить більш широке застосування на міських та зонових мережах, а також завдяки меншим витратам на її введення. Вона не потребує застосування оптичних підсилювачів (окрім випадків, коли потрібна 3R регенерація сигналу).

Рознесення каналів для багатьох сучасних DWDM становить 100 ГГц або $\sim 0,8$ нм. Для CWDM розділення каналів здійснюється на значно більшій частотній відстані 2500 ГГц або ~ 20 нм.

Приклади спектру групового потоку для 4-канальної CWDM системи та 32-канальної DWDM системи (на спектрах вказано також спектр каналу OSC (Optical Supervisory Channel - оптичний канал контролю)), що знаходиться окремо від основного групового потоку наведені на рисунку 10.7 а, б:

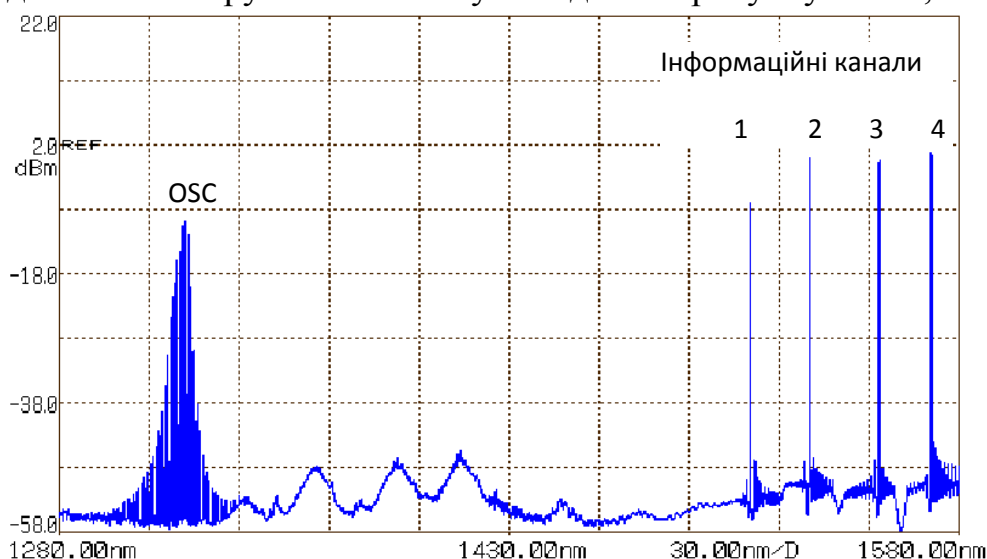


Рисунок 10.7 а) — Приклад спектра лінійного сигналу системи CWDM

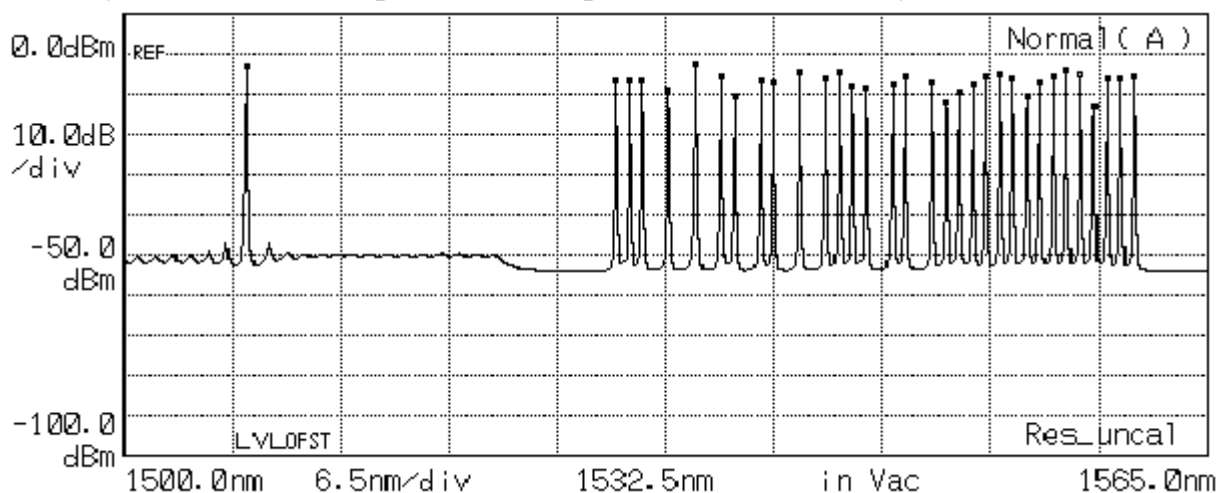


Рисунок 10.7 б) — Приклад спектра лінійного сигналу системи DWDM.

З появою оптичних підсилювачів та оптичних мультиплексорів введення/виведення OADM, котрі дають можливість маршрутизації, з'являються повністю оптичні транспортні мережі – OTN (Optical Transport Network).

В системах WDM застосовують цілком визначені діапазони довжин хвиль оптичного випромінювання, котрі стандартизовані в рекомендаціях ITU-T G.694.1 та G.694.2 відповідно і наведені в таблицях 10.1 та 10.2.

Таблиця 10.1 — Номінальні центральні довжини хвиль для сітки WDM. [10.2]

Номінальні центральні довжини хвиль, з рознесенням 20 нм для сітки WDM згідно з G.694.2					
1271	1331	1391	1451	1511	1571
1291	1351	1411	1471	1531	1591
1311	1371	1431	1491	1551	1611

Для DWDM та HDWDM, з різною величиною рознесення центральних довжин хвиль за частотою, використовують формули:

для рознесення 12,5 ГГц: $193.1 + n \times 0.0125$ (де n – ціле додатне число, включно з 0);

для рознесення 25 ГГц: $193.1 + n \times 0.025$ (де n – ціле додатне число, включно з 0);

для рознесення 50 ГГц: $193.1 + n \times 0.05$ (де n – ціле додатне число, включно з 0);

для рознесення 100 ГГц: $193.1 + n \times 0.1$ (де n – ціле додатне число, включно з 0).

Частотне та хвильове рознесення каналів C та L для DWDM та HDWDM наведено в таблиці 10.2.

Таблиця 10.2 — Номінальні центральні частоти та довжини хвиль сітки для рознесення каналі сітки WDM згідно з [10.3]

Номінальні центральні частоти для рознесення каналів				Номінальні центральні довжини хвиль, нм
HDWDM			DWDM	
12.5 ГГц	25 ГГц	50 ГГц	100 ГГц	
C – діапазон				
195.9375	–	–	–	1530.0413
195.9250	195.925	–	–	1530.1389
195.9125	–	–	–	1530.2365
195.9000	195.900	195.90	195.9	1530.3341
195.8875	–	–	–	1530.4318
195.8750	195.875	–	–	1530.5295
195.8625	–	–	–	1530.6271
195.8500	195.850	195.85	–	1530.7248

Номинальні центральні частоти для рознесення каналів				Номинальні центральні довжини хвиль, нм
HDWDM			DWDM	
12.5 ГГц	25 ГГц	50 ГГц	100 ГГц	
195.8375	–	–	–	1530.8225
195.8250	195.825	–	–	1530.9203
195.8125	–	–	–	1531.0180
195.8000	195.800	195.80	195.8	1531.1157
195.7875	–	–	–	1531.2135
195.7750	195.775	–	–	1531.3112
195.7625	–	–	–	1531.4090
195.7500	195.750	195.75	–	1531.5068
195.7375	–	–	–	1531.6046
195.7250	195.725	–	–	1531.7024
195.7125	–	–	–	1531.8003
195.7000	195.700	195.70	195.7	1531.8981
195.6875	–	–	–	1531.9960
195.6750	195.675	–	–	1532.0938
195.6625	–	–	–	1532.1917
•	•	•	•	•
193.2375	–	–	–	1551.4197
193.2250	193.225	–	–	1551.5200
193.2125	–	–	–	1551.6204
193.2000	193.200	193.20	193.2	1551.7208
193.1875	–	–	–	1551.8212
193.1750	193.175	–	–	1551.9216
193.1625	–	–	–	1552.0220
193.1500	193.150	193.15	–	1552.1225
193.1375	–	–	–	1552.2229
193.1250	193.125	–	–	1552.3234
193.1125	–	–	–	1552.4239
193.1000	193.100	193.10	193.1	1552.5244
193.0875	–	–	–	1552.6249
193.0750	193.075	–	–	1552.7254
193.0625	–	–	–	1552.8259
193.0500	193.050	193.05	–	1552.9265
193.0375	–	–	–	1553.0270
193.0250	193.025	–	–	1553.1276
193.0125	–	–	–	1553.2282
193.0000	193.000	193.00	193.0	1553.3288
192.9875	–	–	–	1553.4294
192.9750	192.975	–	–	1553.5300
192.9625	–	–	–	1553.6307
L - діапазон				
184.7750	184.775	–	–	1622.4731
184.7625	–	–	–	1622.5828

Номинальні центральні частоти для рознесення каналів				Номинальні центральні довжини хвиль, нм
HDWDM			DWDM	
12.5 ГГц	25 ГГц	50 ГГц	100 ГГц	
184.7500	184.750	184.75	–	1622.6926
184.7375	–	–	–	1622.8024
184.7250	184.725	–	–	1622.9122
184.7125	–	–	–	1623.0220
184.7000	184.700	184.70	184.7	1623.1319
184.6875	–	–	–	1623.2417
184.6750	184.675	–	–	1623.3516
184.6625	–	–	–	1623.4615
184.6500	184.650	184.65	–	1623.5714
184.6375	–	–	–	1623.6813
184.6250	184.625	–	–	1623.7912
184.6125	–	–	–	1623.9012
184.6000	184.600	184.60	184.6	1624.0111
184.5875	–	–	–	1624.1211
184.5750	184.575	–	–	1624.2311
184.5625	–	–	–	1624.3411
184.5500	184.550	184.55	–	1624.4511
184.5375	–	–	–	1624.5612
184.5250	184.525	–	–	1624.6712
184.5125	–	–	–	1624.7813
184.5000	184.500	184.50	184.5	1624.8914

Для DWDM мережі з гнучкою сіткою частот, дозволені визначається за формулою:

$193,1 + n \times 0,00625$ в ТГц, (де n – ціле додатне число, включно з 0 і 0,00625),

де номінальна центральна частота деталізації в ТГц і ширина щілини визначається за формулою: $12,5 \times m$ де m – ціле позитивне число і 12,5 слот ширини деталізації в ГГц.

Будь-яка комбінація частотних інтервалів допускається до тих пір поки будь які два слоти частоти не перекриваються. Додаткова інформація щодо використання гнучкої сітки можуть бути знайдені в [10.3] .



Рисунок 10.8 — Контрольні точки у відповідності до п. 5.2 рекомендацій G.680, G.692, G.695, G.696.1, G.698.1, G.959.1 та доповнення II рекомендації G.959.1, і додатка "Г" ГСТУ 45.017-2001

Таблиця 10.3 — Контрольні точки WDM систем.

$S_1 - S_n$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів мультиплексорів SDH для каналів 1...n відповідно.
$R_{m1} - R_{mn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів перед транспондером для каналів 1...n відповідно.
$S'_{m1} - S'_{mn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів після транспондера для каналів 1...n відповідно.
$R'_{m1} - R'_{mn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів перед мультиплексором WDM.
R_o	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичного з'єднувача перед мультиплексором WDM для каналу OSC.
S	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичного з'єднувача після мультиплексора WDM.
R'	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичного з'єднувача перед оптичним підсилювачем.
S'	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичного з'єднувача після оптичного підсилювача.
R	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичного з'єднувача перед демультимплексором WDM.
$S'_{D1} - S'_{Dn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів після демультимплексора WDM.
$R'_{D1} - R'_{Dn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів перед транспондером для каналів 1...n відповідно.
S'_o	Контрольна точка на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичного з'єднувача після демультимплексора WDM для каналу OSC.
$S_{D1} - S_{Dn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів після транспондера для каналів 1...n відповідно.
$R'_{D1} - R'_{Dn}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів мультиплексорів SDH для каналів 1...n відповідно.
$R'_{O1} - R'_{On}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на вході оптичних з'єднувачів оптичного мультиплексора введення/виведення WDM після транспондера для каналів 1...n відповідно.
$S'_{O1} - S'_{On}$	Контрольні точки на оптичному волокні безпосередньо на виході оптичних з'єднувачів оптичного мультиплексора введення/виведення WDM перед транспондером для каналів 1...n відповідно.

Вимірювання параметрів та моніторинг WDM систем.

Якість WDM системи, в цілому, при вводі її в експлуатацію можна оцінювати шляхом:

- вимірювання BER (Bit-Error Ratio - коефіцієнт помилок за бітами) для всіх каналів;
- вимірювання OSNR (Optical Signal-to-Noise Ratio - оптичне відношення сигнал/шум);
- перевірки стабільності довжин хвиль;
- вимірювання перехресних завад;
- перевірки стійкості роботи системи за умови видалення (додавання) компонентів каналу; зміна конфігурації системи не повинна вплинути на рівень сигналів у інших каналах;
- холодного запуску системи; виключення системи та її повторне включення (впродовж не менше 1 хвилини після виключення);
- перевірки оптичного бюджету системи;
- вимірювання дисперсійної, шумової, потужностної характеристик;
- вимірювання затримки передавання даних.

Після введення в дію WDM системи найбільшого значення набуває безперервний моніторинг параметрів системи.

Моніторинг систем WDM – це безперервний контроль стану активних каналів за допомогою відповідного набору тестів. Моніторинг призначено для вияву різних відхилень в оптичних характеристиках мережі, що можуть вплинути на її працездатність. Моніторинг призначено не лише для відслідковування поточного стану системи, але і для аналізу цього стану для запобігання виходу системи з ладу чи погіршення її показників якості.

Можна виділити такі типи моніторингу:

- моніторинг активних волокон: що дозволяє контролювати поточний стан системи і її характеристик. Контроль стану об'єктів, цілісності волокна і кабелю та методи такого контролю описані в рекомендації L.40;
- моніторинг з використанням каналу контрольного оптичного каналу (OSC Optical Supervisory Channel – оптичний контрольний канал). Оптичний контрольний канал – це канал для контролю показників якості лінійного тракту та для передавання сигналів технічного обслуговування БОСП. Канал OSC дозволяє використовувати всі необхідні тести безперервно та без відключення каналів. Оскільки довжина хвилі каналу OSC знаходиться поза смугою підсилювача EDFA, то вихід підсилювача з ладу не впливає на цілісність каналу OSC;

- моніторинг з використанням одного з робочих каналів. Цей тип моніторингу тотожній контролю з використанням каналу OSC, однак вихід з ладу підсилювача EDFA призводить до порушення цілісності каналу;
- моніторинг з використанням систем дистанційного тестування. Коли спеціальна система моніторингу за допомогою дистанційного тестування постійно і автоматично веде контроль характеристик параметрів в мережі зв'язку, оперативно знаходить несправності і визначає їх.

В рекомендації ITU-T G.697 класифіковані наступні методи моніторингу:

1. Сигналізаційний моніторинг.

Включає в себе моніторинг за часовими і частотними параметрами (найпростіша форма спектрального аналізу – простий моніторинг потужності кожного каналу), як викладено в пункті III.2 рекомендації ITU-T G.697. Якість моніторингу за цими параметрами чутлива до ефектів спотворення та дисперсії.

2. Моніторинг за непрямыми методами.

Непрямі методи використовують емпіричну кореляцію між аваріями обладнання та якістю сигналу. Непрямі методи головним чином вказують на те, що система працює і що якість сигналу погіршено, коли параметр обладнання, що випробується, знаходиться за границями нормованого діапазону.

3. Моніторинг з допомогою вбудованого обладнання.

Використовують для дистанційного контролю параметрів мережі. Існують спеціалізовані системи моніторингу.

4. Моніторинг з допомогою зовнішнього обладнання.

Моніторинг за допомогою зовнішнього обладнання здійснюється як дистанційно так і на місцях в контрольних точках системи. Найчастіше для моніторингу параметрів WDM системи використовують рефлектометри, оптичні аналізатори спектра, тестери коефіцієнтів помилок (котрі як правило є складовою частиною мережних аналізаторів), вимірювачі оптичної потужності. Рекомендація G. 697 регламентує перелік явищ, що призводять до погіршення у оптичній частині системи, як показано в наступній таблиці 10.4.

Таблиця 10.4 — Чинники, що впливають на якість в оптичній частині системи WDM.

Вид погіршення	Відносна частота виникнення	Опис в ITU-T
Загасання	Часто	
Зміна оптичної потужності в каналі внаслідок вимірювання коефіцієнта підсилення в каналі	Часто	
Відхилення від номіналу частоти (або довжини хвилі)	Часто	G.692
Поляризаційна дисперсія моди (PMD) (першого або вищих порядків)	Середньо	Додаток II/G.663

Вид погіршення	Відносна частота виникнення	Опис в ІТУ-Т
Чотирихвильове змішування (FWM)	Середньо	Додаток II/G.663
Підсилена спонтанна емісія (ASE). Шум в оптичних підсилювачах	Середньо	Додаток II/G.663
Хроматична дисперсія	Середньо	Додаток II/G.663
Нахил хроматичної дисперсії	Середньо	G.652, G.653, G.655
Відбиття	Середньо	Додаток III/G.663
Шум лазера	Середньо	
Внутрішньоканальні перехідні завади	Середньо	G.Sup39
Інтерференційні перехідні завади	Середньо	G.Sup39
Перехресна фазова модуляція (XPM)	Рідко	Додаток II/G.663
Самомодуляція фази (SPM)	Рідко	Додаток II/G.663
Вимушене Бріллюєнівське розсіювання (SBS)	Рідко	Додаток II/G.650.2 Додаток II/G.663
Вимушене Раманівське розсіювання (SRS)	Рідко	Додаток II/G.663

Деякі залежності для описаних параметрів показані в додатку I рекомендації ІТУ-Т G. 697

Рівні відносної частоти появи погіршення вказані в таблиці:

- рідко: коли ймовірність ефекту, що спричинює достатньо суттєвий штраф, X дБ, ≈ 1 випадок в 10 років;
- середньо: коли ймовірність ефекту, що спричинює достатньо несприятливий штраф, X дБ, ≈ 1 випадок в рік;
- часто: коли ймовірність ефекту, що спричинює достатньо несприятливий штраф, X дБ, ≈ 10 випадок в рік.

Вищевказані величини відносяться до періоду усталеного режиму життя систем. Випадок, що призводить до появи штрафу X дБ, стосується як одного каналу так і багатьох каналів. Значення для штрафу X дБ наведено в додатку II рекомендації ІТУ-Т G. 697. Ці дані відносяться до оптичних каналів зі швидкістю передачі в 10 Гбіт/с, на швидкостях вище 10 Гбіт/с вони будуть відрізнятися від наведених.

Параметрами для оптичного моніторингу, визначеними в рекомендації ІТУ-Т G.967, є:

- потужність в каналі;
- повна потужність;
- коефіцієнт оптичного відношення сигнал/шум (OSNR), коли в каналі відсутній значний шум;
- Q-фактор.

Таблиця 10.5 — Зв'язок між ефектами, що призводять до погіршення, та параметрами оптичного моніторингу:

Параметри	Повна потужність	Потужність в каналі	Довжина хвилі каналу	OSNR	Q-фактор
Вимірювання загасання	X	X		X	X
Відхилення від номіналу частоти (або довжини хвилі)		X	X	X	X
Зміна оптичної потужності в каналі внаслідок вимірювання коефіцієнта підсилення в каналі		X		X	X

Шляхи розвитку WDM систем.

Можливості DWDM систем, котрі застосовуються на транспортних мережах, в частині передавання більших обсягів трафіку та збільшення гнучкості масштабування систем вже вичерпуються.

Для вирішення проблеми збільшення ефективності WDM систем можливі наступні підходи або їх поєднання.

1. Скорочення кількості вартісного обладнання О-Е-О (оптико- електро-оптичного) перетворення в середині оптичних транспортних мереж.

DWDM системи стають спроможними передавати інформаційні сигнали без електричної регенерації на тисячі кілометрів. З'являється клас доступних і дієвих фотонних крос-комутаторів (PXCs) та оптичних мультиплексорів введення-виведення (OADM). Розвиток технологічної бази відбувається постійно і у 2012 році японська компанія Nippon Telegraph та Telephone Corporation (NTT), спільно з компанією Fujikura Ltd., університетом Хоккайдо та Датським технічним університетом, успішно продемонструвала передавання даних зі швидкістю 1,01 Петабіт/с по оптичному кабелю з 12-ма волокнами на довжину лінії 52,4 км. В системі використовувався кабель з багатоядерними оптичними волокнами (multicore optical fiber), в котрому була використана цифрова когерентна передача з розділенням оптичних сигналів за часом випромінювання, частотою та поляризацією. В наслідок на одне волокно було досягнуто швидкість у 84,5 Терабіт/с або 380 Гбіт/с на одну довжину хвилі по всьому кабелю. Всього було створено 222 частотних канали, що дало загальну швидкість передачі даних 1,01 Петабіт/с.

2. Здешевлення обладнання О-Е-О та використання суперканалів.

Суперканал поєднує кілька оптичних несівних, при цьому створюється сигнал з заданою пропускною здатністю за один цикл передавання. Суперканал дає можливість передавати потоки більше 100 Гбіт/с.

3. Збільшення пропускної спроможності ОВ та ВОСП.

4. Збільшення пропускної спроможності оптичного волокна та ВОСП в цілому можна досягнути багатьма шляхами:

- перехід від DWDM до HDWDM;
- збільшенням діапазонів що використовуються для передачі, наприклад використанням не лише С- та L- діапазонів, а також S- діапазону та використанням Раманівських підсилювачів;
- збільшенням швидкості передавання інформації;
- збільшенням спектральної ефективності сигналу що передається шляхом збільшення кількості біт інформації що передаються на один символ;
- збільшенням спектральної ефективності за рахунок використання різноманітних способів маніпуляції – PSK (phase-shift keying фазова маніпуляція), або QASK (Quadrature Amplitude-Shift Keying квадратурна амплітудна маніпуляція) з використанням когерентного детектування (що збільшує стійкість ОВ до хроматичної дисперсії та поляризаційної дисперсії моди);
- використанням мультиплексування OFDM (Orthogonal frequency-division multiplexing – мультиплексування з ортогональним частотним розділенням каналів в оптичному волокні); OFDM вже давно застосовується в радіозв'язку (стандарт 802.11 або LTE – Long Term Evolution – довготерміновий розвиток – 4G); у цифровому телебаченні (DVB-T – Digital Video Broadcasting – Terrestrial – територіальне цифрове телебачення); та xDSL (digital subscriber line – цифрова абонентська лінія – використовується у мультисервісних широкосмугових мережах доступу); Розглянуті вище види цифрової модуляції використовує багато близько розташованих ортогональних піднесівних, кожна з котрих модулюється по звичайній схемі модуляції (наприклад QASK). Німецькі інженери під керівництвом Вольфганга Фройде (Wolfgang Freude) в журналі [Nature Photonics](#), описали свою роботу в якій використовуючи принцип OFDM, досягнути швидкості 26 Терабіт/с по оптоволокну з одним лазером. При використанні OFDM центри піднесівних розташовані так, що максимумами наступного сигналу співпадають з мінімумами попереднього сигналу, що набагато ефективніше використовує смугу частот. Унікальність роботи Фройде в тому, що до нього передача кожної піднесівної здійснювалась окремим лазером, що значно здорожувало систему передачі.

10.3 OTN

Розглянуті вище технології SDH та xWDM, мають низку системних проблемних факторів, і якщо в системах SDH це проблеми ефективної роботи

при передачі різнорідного трафіку та низька ефективність використання пропускної здатності ОВ, то xWDM має свої проблемні фактори:

- накопичення шумів в системах xWDM, в наслідок роботи оптичних підсилювачів, значно впливає на параметр OSNR (Optical Signal-to-Noise Ratio – оптичне відношення сигнал/шум), особливо при застосуванні кількох ділянок підсилення. Причому механічно збільшити потужність корсного сигналу не можна, оскільки це може призвести до появи нелінійних ефектів в ОВ та зростання перехресних завад. Також не можливо запровадити механізми корекції транспортних сигналів, оскільки в системах xWDM вони передаються наскрізно без їх обробки (що власне дозволяє системам xWDM ефективно передавати будь якій трафік створений різними технологіями передачі інформації);
- на відміну від систем SDH де для потреб експлуатації керування і моніторинг здійснюється передачею службової інформації в структурі циклу передачі блоку STM-N, в системах xWDM для керування мережею використовується спеціально створений канал OSC (Optical Supervisory Channel – оптичний контрольний канал) з окремою довжиною хвилі, що окрім збільшення потужності групового сигналу не вирішує питань по контролю параметрів сигналів трафіку передачі та контролю якості передачі самої інформації котра передається через xWDM системи;
- на відміну від систем xWDM, де вхідні сигнали передаються наскрізно, без обробки, обробка вхідних сигналів в систем SDH дозволяє мультіплексувати і поєднувати сигнали від низько швидкісних додатків, що збільшує пропускну здатність мережі.

В технології OTN (Optical Transport Network – оптична транспортна мережа) транспортування цифрових сигналів відбувається незалежно від типу, швидкості, протоколу, керування і інших особливостей клієнтських сигналів, суть технології OTN описана в рекомендаціях ITU-T G.872 та G.709.

Оптична транспортна ієрархія OTN дозволяє забезпечити роботу і керування оптичних мереж будь-якої архітектури (точка-точка, кільцева, змішана).

Ієрархія OTN являє собою ієрархічний набір транспортних структур, стандартизованих для транспортування відповідним чином адаптованих сигналів корисного навантаження по оптичним мережам передачі дани.

Терміни фізичної структури OTN мережі показані на рисунку 10.9.

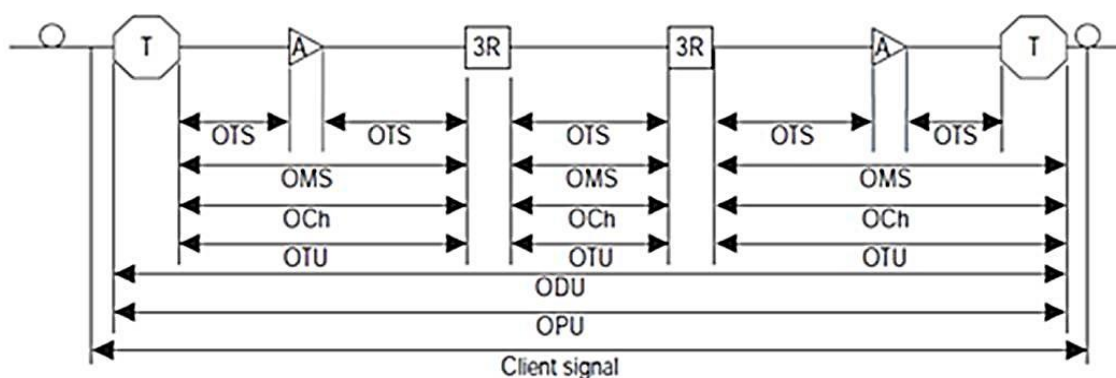


Рисунок 10.9 — Терміни фізичної структури OTN.

T – точка клієнтського доступу.

A – оптичне підсилення.

3R – точка 3R регенерації.

OTS (Optical Transmission Section) – оптична транспортна секція, ділянка передачі оптичного сигналу без його фізичної зміни (мультиплексування, регенерації).

OMS (Optical Multiplex Section) – оптична секція мультиплексування, ділянка мультиплексування оптичного сигналу (ділянка мережі без о-е-о перетворень)

OCh (Optical channel) – оптичний канал. Одиночний канал або довжина хвилі, в межах секції мультиплексування (OMS), є інформаційною структурою котра складається з інформаційного корисного навантаження з певною визначеною смугою передачі та службового навантаження для керування цим каналом. При використанні OADM (optical add drop Multiplexer – оптичний мультиплексор введення/виведення різні OCh можуть бути різні секції мультиплексування (OMS) адже секцію мультиплексування обмежують лише 3R регенератори з о-е-о перетворенням сигналів.

OPU (Optical payload unit) – блок корисного навантаження оптичного каналу. OPU передається з кінця в кінець всього тракту передачі сигналу від термінальної точки клієнта до термінальної точки клієнта на іншій стороні мережі. Службова інформація блоку OPU містить інформацію по адаптації швидкості передачі клієнтського сигналу та сигналів мережі OTN, та іншу інформацію необхідну для транспортування сигналу клієнта.

ODU (Optical Data Unit) – блок даних оптичного каналу. Також передається з кінця в кінець мережі зі службовою інформацією котра виконує функції моніторингу:

- інформацію передачі аварійних повідомлень;
- інформацію про проходження по мережах різних операторів;
- інформацію про помилки,
- інформацію про переключення на резервні шляхи.

OTU (Optical Transpot Unit) – транспортний блок оптичного каналу. OTU складається з блоку даних оптичного каналу (ODU) та службової інформації для керування оптичним каналом, характеризується кадровою структурою та швидкістю передачі бітів і смугою пропускання. OTU виконує функції:

- поділ сигналу на кадри та мультікадри (framing);
- передачу сигналу про помилки в секції мультиплексування;
- передачу службової інформації в межах секції мультиплексування;
- передачу інформації необхідної для виконання FEC (Forward Error Correction – система із зворотньо-вирішувальним зв'язком для попередньої корекції помилок).

Таким чином OTN, на рівні транспортної мережі, може вирішити наступні задачі:

- організація моніторингу як фізичних параметрів сигналу так і структури сигналу та помилок передачі;
- організувати передачу інформації про наявність помилок і місці їх виникнення;
- реалізувати механізм переключення тракту на резервний шлях;
- організувати передачу службової інформації керування без використання виділеного оптичного сервісного каналу.

Фактично використання OTN додає при використанні xWDM, в якості технології транспортної мережі, більше керованості та сумісності з обладнанням різних технологій.

Можливості мультиплексування технології OTN дозволяють різним типам трафіку передаватись по єдиним оптичним транспортним блокам (котрі використовуються при передачі в мережах xWDM). В якості набору блоків OTU, технологія OTN використовує наступні типи (таблиця 10.6).

Таблиця 10.6 — Типи блоків OTU.

Тип OTU	Швидкість OTU, кбіт/с	Швидкість даних в OTU, Гбіт/с	Приклад типів клієнтських сигналів
OTU1	26661057,143 \pm 20ppm	2.48832	STM-1, STM-4, STM-16, GbE, GPON
OTU2	10709225,316 \pm 20ppm	9.9953	STM-64, 10GbE
OTU3	43018413,559 \pm 20ppm	40.150	STM-256, 40GbE, 40GPON
OTU4	111809973,568 \pm 20ppm	104.35597	100GbE
1 ppm = 10 ⁻⁶			

10.4 xPON

PON (Passive Optical Network) – пасивна оптична мережа, що вказує на відсутність підсилювального обладнання (та обладнання регенерації оптичних сигналів) в мережі (між лінійним обладнанням та мережними закінченнями).

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

В технології xPON одне оптичне лінійне закінчення (OLT – Optical Line Termination) використовується для передавання трафіку до багатьох оптичних мережних закінчень (ONT – Optical Network Termination) та отримання трафіку від них. Таким чином виникає два потоки інформації що передається. Низхідний (від OLT до ONT) та висхідний (від ONT до OLT) потоки, причому ці потоки передаються по одному волокну з використанням принципу WDM (тобто передачею цих потоків на різних довжинах хвиль) наприклад 1550 нм для низхідного та 1310 нм для висхідного потоків.

Кількість ONT підключених до одного OLT може бути настільки великою, наскільки це дозволить оптичний бюджет. Оцінка втрат в оптичному тракті відбувається згідно рекомендації ITU-T G.982 наступним чином:

Верхня межа втрат =

$$(mS_{\mu} + kC_{\mu} + LF_{\mu} + bB_{\mu} + M_{\mu}) + \sqrt[3]{mS\sigma^2 + kC\sigma^2 + LF\sigma^2 + bB\sigma^2 + M\sigma^2};$$

Нижня межа втрат =

$$(mS_{\mu} + kC_{\mu} + LF_{\mu} + bB_{\mu} + M_{\mu}) - \sqrt[3]{mS\sigma^2 + kC\sigma^2 + LF\sigma^2 + bB\sigma^2 + M\sigma^2}.$$

де:

m – кількість зварювань (зварних з'єднань);

k – кількість конекторів (рознімних з'єднань);

L – довжина волокна (км);

σ – кількість оптичних пристроїв розгалуження (сплітерів);

S_{μ} – втрати на зварних з'єднаннях (дБ);

C_{μ} – втрати на конекторах (дБ);

F_{μ} – середня величина втрат в ОВ (дБ/км);

B_{μ} – втрати на розгалужувачах (сплітерах) (дБ);

M_{μ} – втрати на інших різних оптичних пристроях (дБ);

S_{σ} – стандартне відхилення втрат на зварних з'єднаннях (дБ);

C_{σ} – стандартне відхилення втрат конекторах (дБ);

F_{σ} – стандартне відхилення втрат в ОВ (дБ/ $\sqrt{\text{км}}$);

B_{σ} – стандартне відхилення втрат в пристроях оптичного розгалуження (сплітерах) (дБ);

M_{σ} – стандартне відхилення втрат на інших різних оптичних пристроях (дБ).

Ефективність PON базується на принципі розподілення потужності оптичного сигналу, котрий ділиться для надання послуг зв'язку між багатьма користувачами. 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 лінійного вузла (OLT).

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-T G.982 втрати в оптичному шляху визначають певні класи для оптичних систем (таблиця 10.7).

Таблиця 10.7 — Класи для оптичних систем.

Параметр / Клас	Клас А	Клас В	Клас С
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 «С» більш строгий до систем з часовим мультиплексуванням, оскільки такі системи матимуть розгалужувачі/об'єднувачі 1:2, що вноситиме додаткові втрати.			

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 з використанням *оптичних розгалужувачів (оптичні сплітери, оптичні компоненти розгалуження)* – неселективних за довжиною хвилі оптичного випромінювання пасивних пристроїв, що мають три і більше портів і призначені для розподілу потужності оптичного сигналу між портами по заздалегідь встановленим правилам, без будь-якого зусилля переключення або інших активних змін. Зазвичай оптичний сплітер має n входів (де $n = 1$ або 2) та m виходів (де $m = 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128$ або 256).

При цьому сплітери 2:1 використовують для резервування в мережі і підвищення її стійкості до аварійних станів мережи.

Базовими топологіями PON мереж з архітектурою P2mP при реалізації концепції FTTH є «зірка», «дерево» та «шина».

При використанні топології «шина», для збалансування різниці між довжинами ліній від розгалужувачів до споживачів, бажано використовувати оптичні розгалужувачі (сплітери) з непропорційною величиною ділення оптичної потужності (коли для довгих ліній відгалужуватиметься більший процент потужності, а відповідно для коротких менший).

Група xPON містить в собі:

– APON (ATM PON) – це перший стандарт PON. Як транспортний протокол використовувалась технологія ATM (asynchronous transfer mode – асинхронний режим переносу). Ця технологія не набула поширення в Україні і на сьогодні є застарілою;

– BPON (Broadband PON). Як транспортний протокол використовується технологія ATM. Фактично BPON є подальшим розвитком APON.

Ця технологія не набула поширення в Україні і на сьогодні є застарілою;

– EPON (Ethernet PON) – визначається стандартом IEEE 802.3ah для систем зі швидкістю передавання інформації до 1 Гбіт/с, а також рекомендаціями ITU-T G.985 та G.986 (GEPON – гігабітні EPON) 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 або 1490 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);

– GPON (Gigabit PON). Як транспортний протокол використовується технологія SDH з протоколом формування пакетів GFP (generic framing protocol).

В системах GPON швидкість передавання низхідний потік / висхідний потік 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;

Для випадку коли концепції FTTH або FTTC функціонують спільно з технологією ADSL (asymmetric digital subscriber line – асиметрична цифрова абонентська лінія), можуть бути використані швидкості менші ніж 1,2 Гбіт/с.

Передача інформації для висхідного потоку здійснюється в смузі 1260 ÷ 1360 нм, а низхідного в смузі 1480 ÷ 1580 нм (причому для двохволоконних систем і висхідний і низхідний потоки передаються по різних волокнах по смузі 1260 ÷ 1360 нм).

– XGPON (10GPON – 10 Gigaбіт PON) – є подальшим розвитком технології GPON, описана в рекомендації ITU-T G.987.1. В системі XGPON закладена сумісність з GPON та GEAPON. Системи XGPON використовують діапазон 1260 ÷ 1280 нм для висхідного потоку та 1575 ÷ 1581 нм для висхідного потоку з дистанцією передачі не менше 20 км та сплітерами з кратністю ділення до 1:64.

Існує два варіанти XGPON, котрі мають основну відмінність в швидкості потоків:

XGPON1: 10 Гбіт/с / 2,5 Гбіт/с

XGPON2: 10 Гбіт/с / 10 Гбіт/с

Сценарії застосування XGPON наведені на рисунку 10.10.

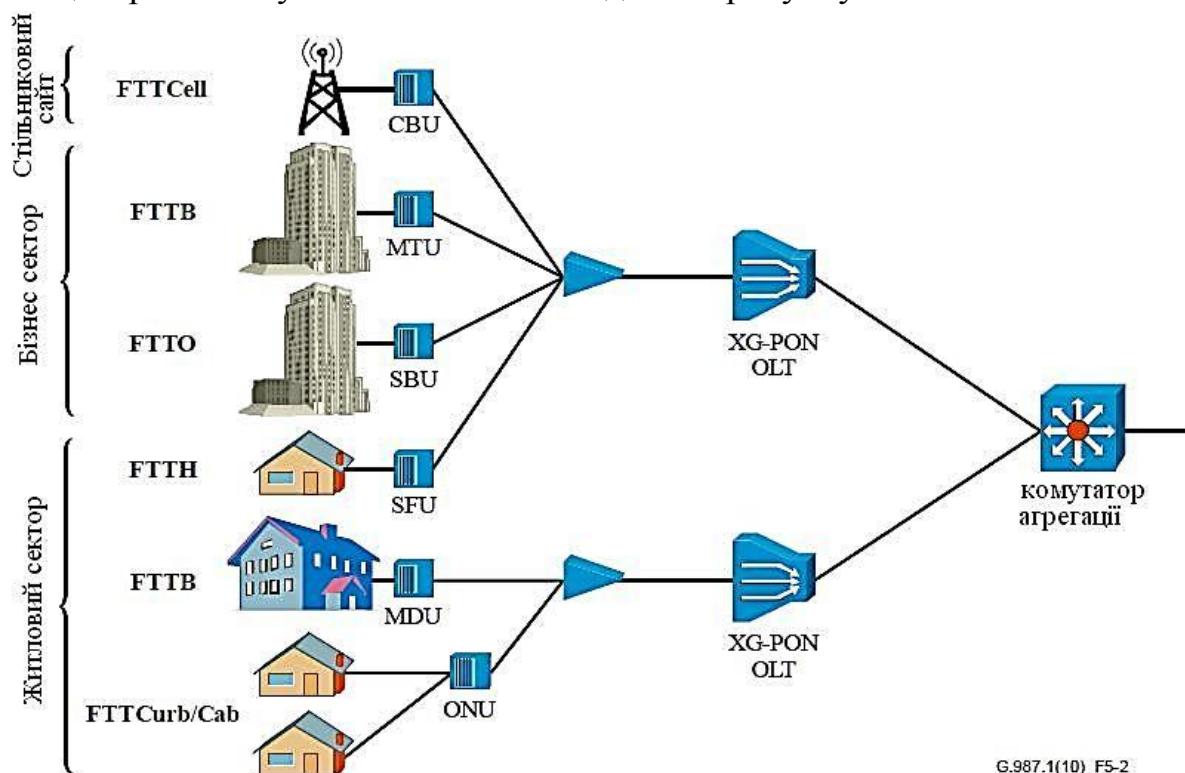


Рисунок 10.10 — Сценарії застосування XGPON (відповідно до [10.4]).

Де відповідно для реалізації різних концепцій побудови мережі доступу FTTx різні типи ONT (optical network termination), котрі підкреслюють функції

притаманні певним сценаріям показаним та забезпечують зв'язок з OLT (optical line termination) як показано на рисунку 10.10:

(CBU) cell-site backhauling unit – блок для поєднання стільникового сайту та транспортною мережею;

(MTU) multi-tenant unit – багатокористувачькій блок;

(SBU) served business users – обслуговування бізнес споживачів;

(SFU) served file exchange users – обслуговування файлообміну споживачів;

(MDU) multi-dwelling units – блок для поєднання багатоквартирних житлових приміщень;

(ONU) optical network unit – блок оптичної мережі.

– NG-PON2 (40GPON – 40 Gігабіт PON) є подальшим розвитком технології GPON, описана в рекомендації ITU-T G.989.1. В системах NG-PON2 закладена сумісність з GPON та GEPON. Системи NG-PON2 виконують в двох варіантах:

З використанням принципу TWDM (Time and Wavelength Division Multiplexing) з одночасним часовим та частотним мультиплексуванням (коли 4 або 8 довжин хвиль поєднують потоки від кількох xPON).

З використанням принципу PtP WDM (Point-to-Point Wavelength Division Multiplexing) коли на один мережний блок подається одна або кілька довжин хвиль в кожному напрямку.

Дистанція передачі не менше 40 км, а при певних умовах 60 км і до 100 км.

Швидкості кожного TWDM каналу можуть мати наступні значення:

10 Гбіт/с / 10 Гбіт/с

10 Гбіт/с / 2,5 Гбіт/с

2,5 Гбіт/с / 2,5 Гбіт/с

Кратність ділення сплітера до 1:256.

Технологія xPON дає змогу побудувати повністю оптичну мережу доступу, забезпечивши телекомунікаційними послугами наприклад таке місто як Київ з організацією лише одного-двох вузлів надання послуг і вивільненням споруд зв'язку побудованих на мережі раніше.

Розвиток xPON почасти обумовлений розвитком виробництва оптичних волокон та поліпшенням його передавальних якостей. Зокрема загасання та хорматична дисперсія в одномодових оптичних волокнах відображає еволюційний розвиток цих параметрів (рисунк 10.11).

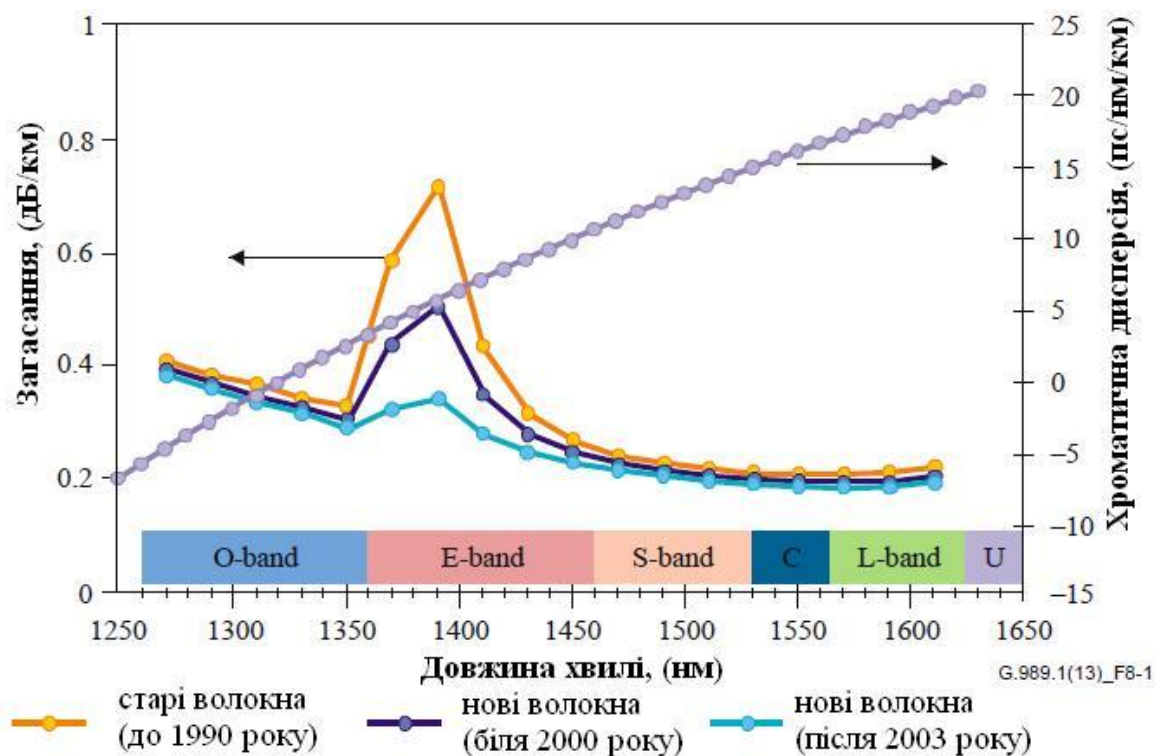


Рисунок 10.11 — Еволюція величини загасання в онomodових оптичних волокнах різних років та хроматична дисперсія (відповідно до [10.5]).

Вимірювання на мережах доступу з технологією PON

В ВОСП, де реалізовані системи PON та здійснюється концепція FTTH з архітектурою P2mP, на відміну від ВОСП, котрі побудовані на архітектурі P2P є певні відмінності:

- на цих лініях присутні оптичні розгалужувачі;
- на цих лініях один кінець оптичного тракту знаходиться в приміщенні абонента (фізична чи юридична особа), а отже для того, щоб потрапити до його приміщення для тестування та вимірів, потрібно узгоджувати з ним час та згоду на відвідування його оселі;
- на цих лініях застосовані як принципи WDM (wavelength division multiplexing), так і притаманна лише для мереж PON, взаємодія між лінійним та мережним терміналами.

Основні параметри ВОСП в системах з технологіями PON є типовими для ВОСП з іншими технологіями передавання інформації:

- параметри оптичного тракту (загасання, дисперсія, нелінійні ефекти (особливо при передаванні в PON системах телевізійного сигналу), тощо;
- параметри якості передавання (швидкість, рівень вихідної потужності, рівень вхідної потужності, коефіцієнт помилок, тощо);

При вимірюванні загасання оптичного тракту в мережах PON використовують вже наведені вище метод втрат, що вносяться та рефлектометричний метод.

Однак застосування цих методів на мережах PON має свою специфіку, як на етапі вводу системи в експлуатацію, так і при тестуванні вже працюючої системи:

- вимірювання проводять на довжинах хвиль 1310 нм, 1490 нм, 1550 нм, (окрім того для технологічного обслуговування і моніторингу визначені довжини хвиль 1625 або 1650 нм), а значить вимірювальне обладнання має бути спроможним виконувати виміри на цих довжинах хвиль;
- не всі приймачі вимірювального обладнання можуть бути розраховані на потужність сигналів в системах PON;
- оскільки ONU (optical network unit) працює виключно при підключенні сигналів від OLT (optical line terminal) неможливо вимірювати сигнали з боку ONU, просто підключившись до нього. А отже вимірювальне обладнання повинно мати можливість працювати на «прохід», тобто без обриву робочої лінії або підключатись через розгалужувач. При цьому на вимірювальний прилад від розгалужувача потрапляє лише не більше 10% потужності сигналу з лінії;
- для кожного ONU виділений лише невеликий інтервал часу для передавання сигналів, а вимірювальне обладнання має визначити результат за певний період часу, котрий перевищує інтервал зв'язку між ONU та OLT; тому має застосовуватись вимірювальне обладнання, здатне вимірювати пікові показники. Проте це також збільшує похибку вимірювання, адже такі вимірювання більш чутливі до шуму в каналі;
- системи PON використовують вихідні конектори з поліруванням APC (Angle Physical Contact), а вимірювальне обладнання, зазвичай, має конектори PC (Physical Contact) тому, якщо не брати до уваги цю особливість, подібна «нестиковка» може збільшити відбиття та спотворити результати вимірювань.

Тестування параметрів пасивних оптичних мереж доступу поділяються:

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

Потребу 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).

Опис технології xPON наведено рекомендаціях ITU-T таблиця 10.8.

Таблиця 10.8 — Рекомендації ITU-T, що регламентують xPON.

Рекомендація ITU-T	Назва рекомендації
G.982	Optical access networks to support services up to the ISDN primary rate or equivalent bit rates. (Оптичні мережі доступу для підтримки послуг до швидкості ISDN або еквівалентних швидкостях.)
G.983.1	Broadband optical access systems based on Passive Optical Networks (PON). (Широкопasmові оптичні системи доступу на основі пасивних оптичних мереж (PON))
G.983.2	ONT management and control interface specification for B-PON. (Управління ONT і специфікація інтерфейсу управління для B-PON.)
G.983.3	A broadband optical access system with increased service capability by wavelength allocation. (Система широкопasmового оптичного доступу з розширеними можливостями послуг з розподілом за довжиною хвилі.)
G.983.4	A broadband optical access system with increased service capability using dynamic bandwidth assignment. (Система широкопasmового оптичного доступу з розширеними можливостями послуг з використанням динамічного розподілу смуги пропускання.)
G.983.5	A broadband optical access system with enhanced survivability. (Система широкопasmового оптичного доступу з підвищеною стійкістю).
G.Imp983.2	Implementers' Guide for ITU-T Rec. G.983.2. (Керівництво користувачів для ITU-T Rec. G.983.2)
G.984.1	Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою гігабітних швидкостей передачі: Основні характеристики)
G.984.2	Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою гігабітних швидкостей передачі (GPON): Специфікація залежного від фізичного середовища (PMD) рівня)
G.984.3	Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою гігабітних швидкостей передачі (GPON): Специфікація рівня передачі.)
G.984.4	Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): ONT management and control interface specification. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою гігабітних швидкостей передачі (GPON): ONT специфікація інтерфейсу управління та керування)
G.Imp.984.4	Implementor's Guide for ITU-T Rec. G.984.4. (Керівництво користувачів для ITU-T Rec. G.984.4.)
G.984.5	Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Enhancement band. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою гігабітних швидкостей передачі (GPON): Розширена смуга)
G.984.6	Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Reach extension. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою гігабітних швидкостей передачі (GPON): Розширені можливості)

Рекомендація ITU-T	Назва рекомендації
G.984.7	Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Long reach. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою гігабітних швидкостей передачі (GPON) Розширення дистанції)
G.Imp984.3	Implementers' Guide for ITU-T Rec. G.984.3. (Керівництво користувачів для ITU-T Rec. G.984.3.)
G.985	100 Mbit/s point-to-point Ethernet based optical access system. (100 Мбіт/с P2P Ethernet на основі оптичних мереж доступу.)
G.986	1 Gbit/s point-to-point Ethernet-based optical access system. (1 Гбіт/с P2P Ethernet на основі оптичних мереж доступу.)
G.987	10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms. (Системи пасивних волоконно-оптичних мереж з підтримкою 10 гігабітних швидкостей передачі (XG-PON): Визначення, аббревіатури та скорочення)
G.987.1	10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою 10 гігабітних швидкостей передачі (XG-PON): Загальні вимоги)
G.987.2	10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою 10 гігабітних швидкостей передачі (XG-PON): Специфікації рівня залежного від фізичного середовища (PMD))
G.987.3	10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Transmission convergence (TC) layer specification. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою 10 гігабітних швидкостей передачі (XG-PON): Специфікації рівня об'єднання послуг передачі (TC))
G.987.4	10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Reach extension. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою 10 гігабітних швидкостей передачі (XG-PON): Розширені можливості)
G.988	ONU management and control interface (OMCI) specification. (Оптичний блок керування мережею і специфікація інтерфейсу керування)
G.989.1	40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою 40 гігабітних швидкостей передачі (NG-PON2): Загальні вимоги)
G.989.2	40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification. (Пасивні волоконно-оптичні мережі з підтримкою 40 гігабітних швидкостей передачі (NG-PON2): Специфікації фізичного рівня залежного від (PMD))
G.989.3	Phoneline networking transceivers - Isolation function. (Прийомопередавач мереж телефонних ліній – Ізоляційні функції.)
L.86	Considerations on the installation site of branching components in PONs for FTTH. (Розгляд місця встановлення компонентів розгалуження в мережах PON для FTTH)
L.90	Optical access network topologies for broadband services. (Топології оптичних мереж доступу для широкосмугових послуг)

10.5 Ethernet

Слово Ethernet складається з двох слів Ether (Ефір) та net (мережа). Мережа Ethernet була вперше розроблена в першій половині 70-х років минулого століття фахівцями (фірми Xerox) Меткальфом та Боггсом. В основу були покладені принципи побудови системи радіозв'язку "ALOHA", що функціонувала на Гавайському архіпелазі.

Мережа, розроблена фахівцями фірми Xerox, зв'язувала 100 комп'ютерів та мала пропускну здатність 2,94 Мбіт/с. Успіх цього проекту зумовив розробку фірмами Xerox, DEC та Intel специфікації для Ethernet на 10 Мбіт/с.

Ця специфікація була покладена в основу стандарту IEEE 802.3 (Institute of Electrical and Electronics Engineers – Інститут інженерів електротехніки та електроніки – IEEE). Стандарт відрізняється від початкової специфікації Ethernet форматом кадрів, і описує кілька середовищ та швидкостей передавання. Першим стандартом IEEE 802.3 було специфіковано Ethernet 10BASE5 у 1985 році.

Спільним для всіх версій мережі Ethernet є не модульоване передавання даних та метод доступу CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access/Collision Detect) (множинний доступ з опитуванням несівної та вирішенням колізій).

Це означає, що в каналі зв'язку передаються не модульовані імпульсні сигнали. Середовище розповсюдження сигналу формує єдиний канал зв'язку, ресурси котрого використовуються одночасно всіма підключеними пристроями прикінцевого обладнання даних (ПОД) (в англійській літературі DTE (Data Terminal Equipment)). Всі підключені пристрої отримують інформацію, що передається, одночасно. Право на передавання інформації має лише один ПОД (той, що почав передавання першим). Якщо кілька пристроїв починають передавання інформації одночасно, в каналі зв'язку виникає колізія. Сигнали від ПОД, що почали передавання одночасно, гасять один одного.

Для вирішення координації доступу стандартом IEEE 802.3 регламентовано протокол CSMA/CD.

Метод доступу за протоколом CSMA/CD є розподіленим, оскільки всі ПОД мають рівні права. Якщо ПОД збирається почати передавання даних, він спершу перевіряє, чи не почалось передавання даних іншими ПОД. Якщо інші ПОД не передають даних, то він може почати процедуру передавання даних. Якщо один з ПОД виявив, що середовище передавання вже використовується іншим ПОД, то він спершу повинен дочекатись вивільнення каналу зв'язку.

Оскільки всі ПОД отримують інформацію одночасно, інформація повідомлення містить адресу призначення, що дозволяє ПОД визначити, чи потрібно йому приймати дані.

Якщо кілька термінальних пристроїв, що збирались передавати інформацію виявили (за відсутністю в каналі несівної), що канал зв'язку вільний і одночасно почали передавання, то виникне колізія.

В такому випадку всі ПОД, що стали учасниками колізії припиняють повідомлення і протягом певного часу, тривалість котрого є випадковою і розраховується для кожного окремого ПОД у різний спосіб, знову почнуть спробу передавання даних. Так буде повторюватись до тих пір, поки один з ПОД не здійснить успішного передавання даних за відсутності колізії. Інші ПОД чекатимуть на вивільнення каналу зв'язку.

Відстань, в межах котрої протокол CSMA/CD працює коректно (дозволяє виявляти колізії), називають доменом (областю) виявлення колізій.

Узагальнено структуру передавання за допомогою технології Ethernet можна спрощено подати у вигляді алгоритму показаному на рисунку 10.12.

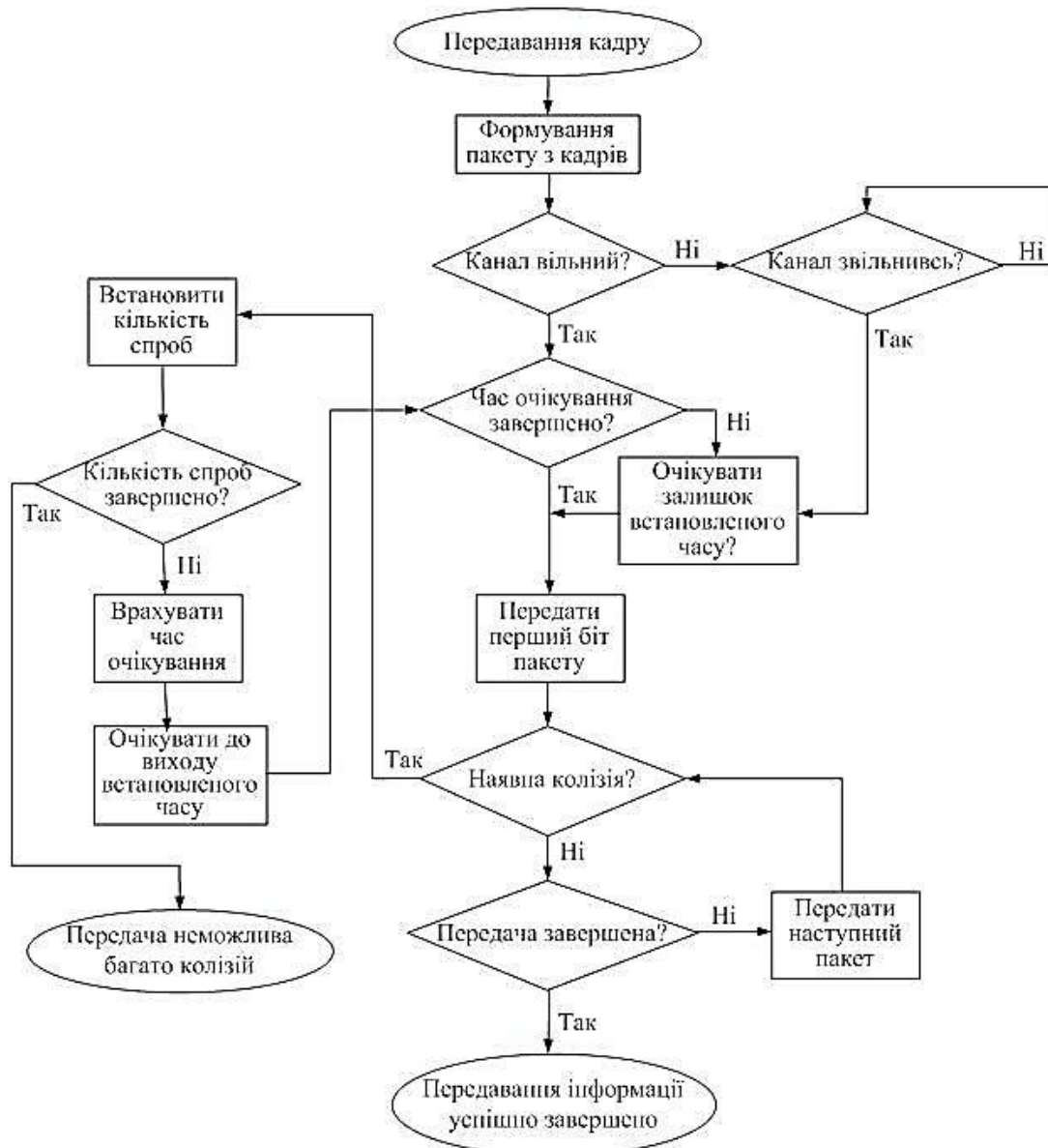


Рисунок 10.12 — Спрощений алгоритм структури передавання з використанням технології Ethernet

Базові поняття:

Контроль несівної (CSMA) – означає, що будь який мережний інтерфейс, перед тим як почати передавання інформації, “прослуховує” (перевіряє наявність в каналі несівної) від інших пристроїв мережі;

Колізія – руйнування пакету даних в каналі під час передавання в наслідок одночасного передавання пакетів від двох або більше учасників мережі. За наявності колізії всі пристрої мережі, котрі виявили колізію, припиняють передавання даних, витримують паузу (котра вираховується випадковим чином кожним ПОД) і повторюють спробу передавати інформацію;

MRT (maximum round-trip time) – (максимальний час проходження сигналу в обох напрямках) час, за котрий пакет даних гарантовано проходить по каналам зв’язку від джерела інформації до отримувача інформації і джерело інформації здатне при цьому виявити наявність колізії (для цього потрібно щоб ушкоджений пакет повернувся по лінії назад до джерела інформації).

MAC адрес – унікальний індивідуальний адрес пристрою, за допомогою котрого його можна ідентифікувати в мережі.

Структура кадрів для різних типів інтерфейсів Ethernet відрізняється одна від іншої несуттєво, але загалом вона виглядає так:

Для МІІ (*Media Independent Interface* – Інтерфейси незалежні від середовища передавання)

<inter-frame><preamble><sfd><data><efd>

Для ГМІІ (*Gigabit Media Independent Interface* – Гігібіт інтерфейси незалежні від середовища передавання)

<inter-frame><preamble><sfd><data><efd><extend>

Inter-frame (міжкадровий) (IPG – interpacket gap (міжпакетний інтервал))

Міжкадровий період – вікно спостереження для невизначеного проміжку часу, впродовж якого відсутні випадки передавання на МІІ. Відсутність передавання даних визначається низьким рівнем сигналу на приймачі в ланцюгу прийому і низьким рівнем сигналу на передавачі в ланцюгу передавання.

preamble (преамбула)

Преамбулою починається передавання кадру, значення бітів поля преамбули на МІІ визначено в стандарті IEEE 802.3 і містить 7 октетів: 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010 10101010.

SFD (Start Frame Delimiter - стартовий розподілювач кадрів)

Вказує початок кадру та закінчення преамбули значення бітів поля sfd на МІІ визначено в п. 7.2.3.3 стандарту IEEE 802.3 як бітову послідовність 10101011

Data (Дані)

Дані на передавачі формуються кадрами і містять N октетів даних, що передаються як $2N$ слова.

EFD (End-of-Frame delimiter – Розподільувач кінця кадрів)

Низький рівень сигналу передавача визначає собою розподільувач кінця кадрів для даних, що передані в ланцюгу передачі.

<extend> (розширення несівної)

Узгодження сигналів підрівнів несівної в ланцюгу передавання з високим рівнем сигналу передавача.

Розширення несівної вказує на ланцюг прийому з високим рівнем прийому і відповідним кодуванням.

Розширення несівної може бути наявним у всіх кадрах.

При передачі інформації за технологією Ethernet варто звернути увагу на певні особливості середовища проходження сигналу.

Обвита пара ((twisted pair) (UTP кабелі)).

Технологія Ethernet з використанням обвитих пар стандартизована стандартом IEEE 802.3 та додатками до нього.

В багатьох різновидах реалізації концепції FTTx оптика не доходить до кінцевого пристрою споживача і доводиться застосовувати кабелі з металевими жилами для внутрішньої прокладки (для будівництва будинкових розподільних мереж при побудові мереж доступу наприклад з реалізацією концепцій FTTB або FTTC та подібних, чи просто будівництво внутрішньої розводки для побудови LAN (Local Area Network – локальна комп'ютерна мережа), при цьому варто звернути увагу на тип кабелю та матеріали з котрих його виготовлено.

Мідний кабель як правило об'єднує в оболонці одну і більше пар провідників. Кожна пара складається з двох обвитих (окрім наприклад кабелю ТРП (ТРВ) (абонентська розводка) один навколо одного ізольованих мідних провідників. Відповідність характеристик таких кабелів (котрі сильно відрізняються один від одного за якістю і можливостями передавання інформації) відповідному класу або категорії визначено в стандартах ISO/IEC 11801 та TIA-568.

Стандарт ISO/IEC 11801 поділяє кабелі на класи:

Клас А – підтримує голосовий діапазон та низькочастотні технології. Стационарна мідна абонентська проводка та канали, що підтримують технології класу А називаються як абонентська проводка класу А та канали класу А відповідно.

Клас В – підтримує технології з середньою швидкістю передавання даних. Стаціонарна мідна абонентська проводка та канали, що підтримують технології класу В називаються як абонентська проводка класу В та канали класу В відповідно.

Клас С – підтримує високошвидкісні технології. Стаціонарна мідна абонентська проводка та канали, що підтримують технології класу С, називаються: абонентська проводка класу С та канали класу С відповідно.

Клас D – підтримує надшвидкісні технології. Стаціонарна мідна абонентська проводка та канали, що підтримують технології класу D, називаються: абонентська проводка класу D та канали класу D відповідно.

Клас E – підтримує надшвидкісні технології. Стаціонарна мідна абонентська проводка та канали, що підтримують технології класу E, називаються: абонентська проводка класу E та канали класу E відповідно.

Клас F – підтримує надшвидкісні технології. Стаціонарна мідна абонентська проводка та канали, що підтримують технології класу F, називаються: абонентська проводка класу F та канали класу F відповідно.

Стаціонарні лінії/канали класу А – визначаються до 100 кГц

Стаціонарні лінії/канали класу В – визначаються до 1 МГц

Стаціонарні лінії/канали класу С – визначаються до 16 МГц

Стаціонарні лінії/канали класу D – визначаються до 100 МГц

Стаціонарні лінії/канали класу E – визначаються до 200 МГц

Стаціонарні лінії/канали класу F – визначаються до 600 МГц

Для з'єднання з обладнанням використовується стандартний рознім (розетка (адаптер) та з'єднувач (конектор)) RJ45. Останнім часом знаходить застосування рознім USB (universal serial bus).

В залежності від конструкції кабелю, розрізняють наступні типи кабелів котрі маркуються наступним чином:

XX/XXX

Перші дві букви вказують на наявність спільного екрану:

U – без екрану

F – Екранований фольгою

S – Екранований обплетенням

SF – Екранований фольгою та обплетенням

Перша з трьох останніх букв вказує на наявність екрану елементів:

U – без екрану

F – Екранований фольгою

Останні дві букви вказують на конструкцію елементу:

TP – обвита пара

Наприклад:

- незахищена (без екрану) вита пара (UTP – Unshielded twisted pair);
- незахищена загальним екраном але екранованими фольгою парами (U/STP – Unshielded/ Shielded twisted pair);
- з загальним екраном з фольги без екрану окремих пар (FTP – Foiled twisted pair);
- з екраном у вигляді оплітки з проволочок для кожної пари та загальним екраном з оплітки з проволочок (STP – Shielded twisted pair);
- з екраном з фольги на кожну пару та загальним екраном у вигляді оплітки з дротів (S/FTP – Screening/ twisted pair);
- з подвійним загальним екраном з фольги та оплітки з дротів (SF/UTP – Screening Foiled/ Unshielded twisted pair).

При цьому ціна на кабельний виріб буде залежати також від типу провідника:

- монолітний (цільна жила);
- багатожильні (жила провідника створена з кількох тонких проволочок).

За рівного зовнішнього діаметра монолітні жили простіші, але менш гнучкі і менш високочастотні. Натомість багатожильні більш високо частотніші і більш гнучки. Також в багатожильних ціна і якість залежатиме від типу скрутки дротів в жилу (пучок, концентрик, unilay). При пучковій скрутці положення дротів в жилі випадкове. Найякісніший вид скрутки концентрик (дуже точна скрутка і укладка всіх дротів в жилу, причому кожен наступний шар навивається в протилежну сторону), найдешевший тип скрутки – пучок, unilay буде проміжним варіантом (коли навколо однієї жили навиваються шарами наступні і так на кожен шар новий шар, кожен шар навивається в одну сторону (за чи проти годинникової стрілки).

Матеріал жили також впливатиме на ціну кабелю. Мідь може бути луджена і не луджена (і відповідно луджена мідь краще протистоїть корозійним впливам).

При виготовленні жили може бути використаний біметал:

- (CCS – Copper Clad Steel) Мідь нанесена на сталевий провідник;
- (CCA – Copper Clad Aluminium) Мідь нанесена на алюмінієвий провідник.

Обидва варіанти погані для високошвидкісного доступу в мережу, але сталевий гірший за алюмінієвий.

Окрім CCA – Copper Clad Aluminium (алюміній плакований міддю, термомеханічний процес коли в мідній трубці розташовується алюмінієва жила і після нагрівання заготовку протягують крізь валики, в наслідок чого матеріали дифузно зчіплюються), де як правило може бути від 30 до 35% міді

використовують також ССА, але Copper Coated Aluminum, коли мідний шар формується в наслідок електрооптичного осадження і шар міді в такій технології біля 9%, що погіршує характеристики жили.

Особливо небажано обирати біметалічні кабелі для технології PoE (Power over Ethernet), оскільки опір сталі і алюмінію вище чим в міді, а електроживлення відбуватиметься саме по центральному матеріалу біметалічної жили.

Тип екрану:

- фольга;
- оплітка з дротів.

Фольга має постійні, фактично не змінні з ростом частоти, екрануючі властивості. Натомість оплітка з дротів має набагато більші екрануючі властивості в частотному діапазоні до 10 МГц, а при 100 МГц набагато гірші чим у фольги.

Тип діелектричних оболонок, може бути різноманітним і відповідно впливатиме на ціну.

Полівінілхлорид, поліетилен, хлорований поліетилен, фторопласт, поліпропілен і багато інших, всі вони мають різні характеристики до температур, розповсюдження горіння, виділення галогенів, стійкість до механічних навантажень, вологостійкість та іншим параметрам. Причому стійкість до горіння і виділення галогенів є головним при виборі типу оболонки для будинкової мережі.

Як наслідок ціна на начебто один і той же кабель може відрізнятись в рази.

Вкладення коштів в будівництво мережі на якісному кабелі дозволить оператору в майбутньому бути більш пристосованому до зростаючих потреб ринку по технологіям передачі інформації.

Обвита пара як середовище розповсюдження сигналів для організації мережі Ethernet дозволяє також організувати подавання електроживлення для таких пристроїв як IP-телефони, точки доступу до бездротових сегментів мережі Ethernet, Web-камери тощо.

Технологія має назву Power over Ethernet (PoE) – (Електроживлення поверх Ethernet) і описана в стандарті IEEE 802.3af Технологія PoE дає можливість задіяти централізовані джерела безперебійного живлення, що гарантуватиме живлення пристроїв за наявності загальних збоїв в електромережі. Технологія PoE згідно стандарту IEEE 802.3af орієнтована на використання кабелів, що відповідають стандарту ISO/IEC 11801.

Електроживлення подається в кабельну мережу через пристрій живлення PSE (Power Sourcing Equipment).

Стандарт IEEE 802.3af регламентує наступні класи потужності, що подаватимуться на пристрої, котрі потребуватимуть дистанційного живлення: Клас	Використання	Діапазон максимальної потужності, що використовується пристроєм
0	основне	Від 0,44 до 12,95 Вт
1	додаткове	Від 0,44 до 3,84 Вт
2	додаткове	Від 3,84 до 6,49 Вт
3	додаткове	Від 6,49 до 12,95 Вт
4	не використовується	для майбутнього застосування

Коаксіальна пара

Технологія Ethernet з використанням коаксіального кабелю стандартизована стандартом IEEE 802.3.

Коаксіальна пара складається з центрального провідника (цільного чи багатожильного), що вкритий шаром діелектричного матеріалу, зовні котрого розташовано другий провідник (обплетення, фольга).

Коаксіальна пара є більш завадостійкою ніж обвита пара, але більш вартісна і менш технологічна для побудови локальних мереж з розгалуженою топологією.

В перших версіях інтерфейсів Ethernet широко використовувалось два типа коаксіальних кабелів:

- thick Ethernet (товстий Ethernet або yellow cable (жовтий кабель)) з хвильовим опором 50 Ом, для підключення до обладнання використовувався 15-контактний рознім, котрий під'єднувався до кабелю за допомогою голки, яка під'єднувалась до центрального провідника коаксіальної пари і забезпечувала передавання сигналів в пристрій зовнішнього доступу, що мав на кінці 15-контактний з'єднувач (конектор). Використовувався як правило для швидкостей 10 Мбіт/с;
- thin Ethernet з хвильовим опором 50 Ом, для підключення до обладнання використовувався трійниковий рознім (Т-з'єднувач (конектор)) Використовувався як правило для швидкостей 10 Мбіт/с.

Оптичне волокно

Відповідність характеристик кабелів (котрі сильно відрізняються один від одного за якістю і можливостями передавання інформації) відповідному класу визначено в стандартах ISO/IEC 11801 та TIA-568.

Стандарт ISO/IEC 11801 поділяє кабелі на наступні оптичні класи:

Оптичні класи (OM для одномодових волокон, OS для одномодових) (OM1; OM2; OM3; OS1) – підтримує високошвидкісні та надшвидкісні технології. Оптичні волоконні стаціонарні лінії та канали, що підтримують

технології оптичних класів називаються як лінії оптичних класів та канали оптичних класів відповідно.

- клас оптичного волокна OM1 – багатомодове оптичне волокно Ø(62,5/125) мкм);
- клас оптичного волокна OM2 – багатомодове оптичне волокно Ø(50/125) мкм) ;
- клас оптичного волокна OM3 – багатомодове оптичне волокно Ø(50/125) мкм з розширеною робочою смугою) ;
- клас оптичного волокна OS1 – одномодове оптичне волокно Ø(8/125) мкм) ;
- клас оптичних каналів OF 300 – підтримує типи оптичних ліній на довжинах до 300 м;
- клас оптичних каналів OF 500 – підтримує типи оптичних ліній на довжинах до 500 м;
- клас оптичних каналів OF 2000 – підтримує типи оптичних ліній на довжинах до 2000 м.

Для з'єднання з обладнанням використовуються рознім (розетка (адаптер) та з'єднувач (конектор)) ST (від англійського Straight Tip); SC (від англійського Subscriber Connector) та інші.

Загальні рекомендації з побудови мережі:

Існує кілька загальних принципів для побудови мережі Ethernet для правильного, надійного і якісного її функціонування під час експлуатації.

- мережа, що використовує протокол CSMA/CD, буде функціонувати правильно в тому випадку, коли всі її вузли можуть бути інформовані про колізію за проміжок часу MRT, менше, ніж тривалість найкоротшого пакета даних. Це накладає обмеження на протяжність кабелю та розмір мережі;
- потрібно пам'ятати, що в кабелі з обвитими парами пари мають різнокольорове маркування не просто так і не все одно яку пару до якого контакту під'єднувати, пари мають різний крок скручування з метою зниження перехресних наведень в кабелі і ця мета досягається лише при правильному їх підключенні;
- між робочими станціями варто включати лише цілі, нерозрізані відрізки кабелю і перехідні з'єднувачі застосовувати якнайрідше;
- при побудові кабельної системи потрібно брати до уваги проблему сумісності:
 - а. сумісність рознімів (механічна відповідність рознімів різних виробників);

- б. сумісність елементів (електрична відповідність рознімів різних виробників);
 - с. сумісність категорій (можливість створення каналу з кабелів різних категорій/класів).
- при виборі обладнання та середовища на якому будуватиметься мережа потрібно враховувати специфіку місця призначення побудови мережі, перспективи розвитку мережі, перспективу завантаження мережі з часом і резерв параметрів мережі, що впливатиме на топологію мережі, кількість точок доступу, тощо.

Стандарти Ethernet та типи інтерфейсів

Стандарти та типи інтерфейсів Ethernet наведено в таблиці 10.9. Показані в таблиці 10.9 типи інтерфейсів інколи мають підтипи, що відображають тип дуплексності передавання інформації в них, котрі позначаються буквами HD (half duplex – напівдуплексний) та FD (full duplex – повнодуплексний), наприклад: 1000BASE-THD, 1000BASE-TFD, 1000BASE-LXHD, 1000BASE-LXFD.

Таблиця 10.9 — Короткий опис нормативних документів та інтерфейсів Ethernet.

Нормативний документ	Короткий опис нормативного документу та тип і параметри інтерфейсу описаного в ньому
IEEE 802	Стандарт містить визначення термінів, що використовуються в стандартах серії IEEE 802.x, містить структуру і призначення стандартів серії IEEE 802.x.
IEEE 802a	Стандарт показує взаємовідношення між стандартом IEEE 802 та моделлю взаємодії відкритих систем стандарту ISO/IEC 7498-1
IEEE 802.1	Стандарт описує основне призначення пристроїв котрі застосовуються в LAN та MAN мережах та загальні стандарти мереж.
IEEE 802.1B	Стандарт визначає архітектуру узгодженої взаємодії відкритих мереж, елементи послуг і протоколів для використання в середовищі LAN/MAN для цілій виконання віддаленого керування пристроями призначеними для LAN або MAN.
IEEE 802.1D	Стандартизує комутатори та мости, визначає архітектуру та протоколи для між мережної взаємодії LANs IEEE 802.
IEEE 802.1E	Стандарт дає опис системного протоколу для завантаження пам'яті обладнання даних, що встановлюється в мережах IEEE 802.
IEEE 802.1F	Стандарт дає визначення загальної інформації з керування такої як атрибути, класи об'єктів керування, стандартних блоків, режимів, кодування інформації, що використовується для керування LAN/MAN, визначає загальні процедури потрібні для технічного опису керування LAN/MAN.
IEEE 802.1G	Стандарт описує використання MAC мостів для об'єднання LAN за для підвищення їхньої ефективності.

Нормативний документ	Короткий опис нормативного документу та тип і параметри інтерфейсу описаного в ньому
IEEE 802.1Н	Стандарт визначає взаємодію нестандартних LAN з LAN побудованих згідно з ISO/IEC 8802.
IEEE 802.1Q	Стандарт визначає функціонування віртуальних LAN мостів, котрі дозволяють визначати, працювати та керувати топологією VLAN в межах з'єднаних структур LAN.
IEEE 802.1X	Стандарт визначає взаємодію неавторизованих засобів і користувачів при підключенні до LAN побудованих згідно з ISO/IEC 8802. Стандарт визначає мережне керування доступом на рівні портів (порт в розумінні цього стандарту це одна точка під'єднання до LAN). Порти використовуються для під'єднання маршрутизаторів, серверів до інфраструктури LAN і встановлюють зв'язок між станціями.
IEEE 802.2	Стандарт описує взаємодію комп'ютерів та терміналів в місцевій мереж доступу (LAN). Описує функції, властивості та послуги підрівня керування логічної ланки (LLC Logical Link Control – підрівня керування логічної ланки) в протоколі LAN ISO/IEC 8802. (Підрівень LLC є верхнім підрівнем в каналному рівні (рівень ланцюгу даних) і здійснює керуванням передачі даних та забезпечує перевірку і правильність передачі інформації в з'єднанні.
IEEE 802.3	Стандарт описує LAN, що працюють з CSMA/CD в якості методу доступу. Описано інтерфейс 10Base5 зі швидкістю 10 Мбіт/с по коаксіальному кабелю з максимальною довжиною сегменту 500 м. В стандарті наведені параметри та методи контролю параметрів інтерфейсів Ethernet. Стандарт має багато доповнень, котрі позначаються літерами IEEE 802.3xx та містять описи інтерфейсів Ethernet
IEEE 802.3a	Описано інтерфейс 10Base2 зі швидкістю 10 Мбіт/с по коаксіальному кабелю з максимальною довжиною сегменту 185 м.
IEEE 802.3b	Описано інтерфейс 10Broad36 зі швидкістю 10 Мбіт/с по коаксіальному кабелю з максимальною довжиною сегменту 3600 м.
IEEE 802.3e	Описано інтерфейс 1Base5 зі швидкістю 1 Мбіт/с по UTP з максимальною довжиною сегменту 250 м.
IEEE 802.3i	Описано інтерфейс 10Base-T зі швидкістю 10 Мбіт/с по UTP cat 3,5 з максимальною довжиною сегменту 100 м.
IEEE 802.3j	Описано інтерфейс 10Base-F зі швидкістю 10 Мбіт/с по оптичному волокну з максимальною довжиною сегменту 2 км.
IEEE 802.3u	Описано інтерфейс 100Base-FX зі швидкістю 100 Мбіт/с по оптичному волокну з максимальною довжиною сегменту 2 км (одномодове ОВ) та 400 м (багатомодове). Інтерфейс 100Base-TX зі швидкістю 100 Мбіт/с по UTP/STP cat 5 з максимальною довжиною сегменту 100 м. Інтерфейс 100Base-T4 зі швидкістю 100 Мбіт/с по UTP cat 4 з максимальною довжиною сегменту 100 м
IEEE 802.3y	Описано інтерфейс 100Base-T2 зі швидкістю 100 Мбіт/с по UTP cat 3 та 5 з максимальною довжиною сегменту 100 м.
IEEE 802.3z	Описано інтерфейси 1000Base-LX зі швидкістю 1000 Мбіт/с з максимальною довжиною сегменту 550 м по багатомодовому оптичному волокну та 5 км по одномодовому оптичному волокну, 1000Base-SX зі швидкістю 1000 Мбіт/с з максимальною довжиною сегменту 550 м по багатомодовому оптичному волокну та 1000Base-

Нормативний документ	Короткий опис нормативного документу та тип і параметри інтерфейсу описаного в ньому
	CX зі швидкістю 1000 Мбіт/с з максимальною довжиною сегменту 25 м по UTP/STP cat 5,5e,6, 1000BASE-ZX зі швидкістю 1000 Мбіт/с з максимальною довжиною сегменту 70 км по одномодовому оптичному волокну
IEEE 802.3ab	Описано інтерфейс 1000Base-T зі швидкістю 1000 Мбіт/с з максимальною довжиною сегменту 100 м по UTP/STP cat 5, 5e, 6 та 7.
IEEE 802.3ah	Описано інтерфейс 100Base-LX10 та 100Base-BX10 зі швидкістю 100 Мбіт/с, а також 1000BASE-LX10 та 1000BASE-BX10 по оптичному волокну з максимальною довжиною сегменту 10 км, та інформацію по GEAPON.
IEEE 802.3ak	Описано інтерфейс 10GBASE-CX4 зі швидкістю 10 Гбіт/с з максимальною довжиною сегменту 15 м по коаксіальному кабелю CX4.
IEEE 802.3an	Описано інтерфейс 10GBASE-T зі швидкістю 10 Гбіт/с з максимальною довжиною сегменту 100 м по UTP/STP cat 6 та 7.
IEEE 802.3aq	Описано інтерфейс 10GBASE-T зі швидкістю 10 Гбіт/с з максимальною довжиною сегменту 220 м по багатомодовому оптичному волокну.
IEEE 802.3av	Описано інтерфейс 10GBASE-PR зі швидкістю 10 Гбіт/с з максимальною довжиною сегменту 20 км по оптичному волокну та інформацію по 10GEAPON.
IEEE 802.3ae	Стандарт є доповненням стандарту IEEE 802.3 для інтерфейсів 10 Гбіт/с. Зокрема описує інтерфейси: <ul style="list-style-type: none"> – 10GBASE-SR зі швидкістю 10 Гбіт/с по багатомодовому оптичному волокну з максимальною довжиною сегменту 300 м; – 10GBASE-LX4 зі швидкістю 10 Гбіт/с з максимальною довжиною сегменту 300 м по багатомодовому оптичному волокну та 10 км по одномодовому оптичному волокну; – 10GBASE-LR зі швидкістю 10 Гбіт/с з максимальною довжиною сегменту 10 км по одномодовому оптичному волокну; – 10GBASE-ER зі швидкістю 10 Гбіт/с з максимальною довжиною сегменту 40 км по одномодовому оптичному волокну; – 10GBASE-SW, 10GBASE-LW, 10GBASE-EW з максимальною довжиною сегменту від 26 м до 40 км по оптичному волокну.
IEEE 802.3af	Стандарт описує метод електроживлення пристроїв DTE через мережу Ethernet
IEEE 802.3aj	Стандарт є доповненням стандарту IEEE 802.3, що вносить зміни до різних частин стандарту IEEE 802.3.
IEEE 802.3ba	Зокрема описує інтерфейси для Ethernet 40 Гбіт/с та 100 Гбіт/с: <ul style="list-style-type: none"> – 40GBase-CR4 100GBase-CR10 зі швидкістю 40 та 100 Гбіт/с відповідно, з максимальною довжиною сегменту 7 м по твінаксіальному кабелю (коаксіальний кабель, в котрого замість одного центрального провідника розташовано два паралельних центральних провідника (інколи називають бінаксіальний кабель)); – 40GBase-T зі швидкістю 40 Гбіт/с, з максимальною довжиною сегменту 30 м по UTP cat 8; – 40GBase-SR4 100GBase-SR10 зі швидкістю 40 та 100 Гбіт/с відповідно, з максимальною довжиною сегменту 100 та 125 м відповідно, по багатомодовому оптичному волокну;

Нормативний документ	Короткий опис нормативного документу та тип і параметри інтерфейсу описаного в ньому
	<ul style="list-style-type: none"> – 40GBase-LR4 100GBase-LR4 зі швидкістю 40 та 100 Гбіт/с відповідно, з максимальною довжиною сегменту 10 та 40 км відповідно, по одномодовому оптичному волокну; – 100GBase-ER4 зі швидкістю 100 Гбіт/с з максимальною довжиною сегменту 40 км по одномодовому оптичному волокну.
IEEE 802.3bg	Описано інтерфейс 40GBase-FR зі швидкістю 40 Гбіт/с з максимальною довжиною сегменту 2 км по одномодовому оптичному волокну.
IEEE 802.5	Описано Token Ring LAN – локальні мережі кільцевої топології в котрій на відміну від випадкового доступу закладеного в Ethernet, доступ до кільця здійснюється за допомогою спеціального алгоритму з передачею кадру спеціального формату (маркера).
IEEE 802.6	Описано MAN мережі (Metropolitan Area Network – міські мережі) наведено рекомендації для регіональних мереж.
IEEE 802.7	Broadband Technical Advisory Group – технічна консультативна група з широкосмугового доступу) описує рекомендації по широкосмуговим технологіям мережі, середовищу, інтерфейсу та обладнанню.
IEEE 802.8	(Fiber Technical Advisory Group – технічна консультативна група по оптичним мережам) містить обговорення використання оптичного кабелю в мережах 802.3 – 802.6, а також рекомендації по оптичним мережним технологіям, середовищу передавання інформації, інтерфейсу та обладнанню, прототип мережа FDDI (Fiber Distributed Data Interface), котра використовує оптичний кабель та доступ із застосуванням маркера.
IEEE 802.9	(Integrated Voice and Data Network – інтегровані мережі передачі голосу і даних) визначає архітектуру, інтерфейси, пристрої одночасної передачі даних та голосу по одній лінії, містить рекомендації по гібридним мережам, в котрих поєднано голосовий трафік та трафік передачі даних в одному і тому самому середовищу мережі.
IEEE 802.10	(Network Security – мережна безпека) розглядає питання керування мережами, шифрування, обміну даними та питаннями безпеки в мережних архітектурах сумісних з моделлю OSI.
– IEEE 802.11	<p>Стандарт описує фізичний рівень та технічні вимоги до пересувних та стаціонарних станцій в локальній мережі бездротового зв'язку. Має низку доповнень:</p> <ul style="list-style-type: none"> – IEEE 802.11a від 16-09-1999 ISO/IEC 8802-11 (Європейським аналогом є стандарт HIPERLAN-2). Швидкість передавання даних 54 Мбіт/с. Робочий діапазон частот 5 ГГц; – IEEE 802.11b (Wi-Fi (Wireless Fidelity)). Швидкість передавання даних 11 Мбіт/с. Робочий діапазон частот 2,4 ГГц; – IEEE 802.11c регламентує роботу бездротових мостів; – IEEE 802.11d регламентує універсальні вимоги до фізичного рівня обладнання IEEE 802.11 (процедури формування каналів, псевдовипадкові послідовності частот та інші). Визначає вимоги до фізичних параметрів каналів (потужність випромінення, діапазон частот) та пристроїв бездротових мереж; – IEEE 802.11e специфікації стандарту IEEE 802.11e призначені для розширенні функціональності обладнання стандартів IEEE 802.11a та

Нормативний документ	Короткий опис нормативного документу та тип і параметри інтерфейсу описаного в ньому
	<p>IEEE 802.11b при створенні мультисервісних бездротових мереж;</p> <ul style="list-style-type: none"> – IEEE 802.11f визначає протокол обміну службовою інформацією між точками доступу; – IEEE 802.11h призначено для узгодження роботи мереж стандарту IEEE 802.11a в Європі, де в діапазоні 5 ГГц працюють деякі супутникові системи. Швидкість передавання даних 100 Мбіт/с; – IEEE 802.11g швидкість передавання даних до 54 Мбіт/с. Робочий діапазон частот 2,4 ГГц; – IEEE 802.11i описано набір захисних функцій при обміні інформацією в бездротових мережах, наводяться алгоритми шифрування, передбачена сумісність всіх пристроїв з мережами IEEE 802.11i; – IEEE 802.11j призначено для Японії, як варіант розширення стандарту IEEE 802.11a додатковим каналом 4,9 ГГц; – IEEE 802.11n призначено для опису роботи в безпроводових локальних мережах зі швидкістю передавання даних 100 Мбіт/с; – IEEE 802.11r призначено для створення універсальної системи роумінгу (від англійського roaming – пересування, мандри) для можливості переходу користувача з зони дії однієї мережі в зону дії іншої.
IEEE 802.12	Описано інтерфейс 100Base-VG зі швидкістю 100 Мбіт/с по UTP cat 3 та 5 з максимальною довжиною сегменту 100 м.
IEEE 802.15	Стандарт описує загальні принципи побудови індивідуальних (дуже малого радіусу дії, до кількох десятків метрів) локальних систем.
IEEE 802.15.1	Наводить специфікацію Bluetooth технологія бездротової передачі даних на близьку відстань (до 100 м), котра забезпечує з'єднання між собою пристроїв які мають вбудований Bluetooth модуль.
IEEE 802.15.2	Визначає взаємодію IEEE 802.11 та IEEE 802.15.
IEEE 802.15.3	Визначає високошвидкісне передавання даних; робочий діапазон частот 2,4 ГГц швидкість передавання даних 11÷55 Мбіт/с.
IEEE 802.15.4	Визначає низько швидкісне передавання даних; робочі діапазони частот 2,4 ГГц та 915 МГц швидкість передавання даних 20 ÷ 250 кбіт/с.
IEEE 802.16	Стандарт описує загальні принципи побудови систем ширококутового радіодоступу в діапазоні 10 ÷ 66 ГГц. Існує кілька специфікацій IEEE 802.16a (робочий діапазон частот 2÷11 ГГц швидкість передавання даних 75 Мбіт/с) та IEEE 802.16e (робочий діапазон частот 2÷6 ГГц швидкість передавання даних 15 Мбіт/с). Стандарт призначено для забезпечення взаємодії локальних мереж IEEE 802.11 з WAN мережами.
IEEE 802.17	Стандарт описує роботу мостів MAC рівня.
IEEE 802.20	Стандарт призначатиметься для мобільних станцій зв'язку з мобільними об'єктами, що можуть швидко рухатись.
TIA 854	Описано інтерфейс 1000BASE-TX зі швидкістю 1000 Мбіт/с з максимальною довжиною сегменту 100 м по UTP/STP cat 6 та 7.
TIA/EIA-785	Описано інтерфейс 100Base-SX зі швидкістю 100 Мбіт/с по багатомодовому оптичному волокну з максимальною довжиною сегменту 300 м.

Нормативний документ	Короткий опис нормативного документу та тип і параметри інтерфейсу описаного в ньому
ITU-T G.8012/Y.1308	Описує транспортну структуру інтерфейсів мережі Ethernet: користувач-мережа та мережа-користувач.
ITU-T G.985	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 тракті).
ITU-T G.986	Рекомендація описує організацію мережі Ethernet за принципом точка-точка зі швидкістю передавання інформації 1 Гбіт/с, що базується на системі оптичного доступу, включно з описом специфікації на оптичну розподільчу мережу.
ITU G.8010/Y.1306	Рекомендація описує функціональну архітектуру мереж, що побудовані за стандартом IEEE 802.3 використовуючи методологію викладену рекомендації ITU G.805 та ITU G.809. Функціональні можливості мережі побудовані за стандартом IEEE 802.3 викладені в рекомендації з точки зору мережного рівня OSI.

Пристрої для організації мереж Ethernet

В найпростішому випадку мережа Ethernet може складатись з двох комп'ютерів в котрих мережні плати з'єднано одна з одною за допомогою з'єднувального кабелю, однак для організації розгалуженої та територіально розподіленої мережі Ethernet потрібні додаткові пристрої, котрими є:

Ретранслятор (repeater; extender):

Ретранслятори призначені для з'єднання сегментів мережі, як подовжувачі фізичного середовища передавання. Як правило за допомогою ретрансляторів будують однорангові мережі з використанням коаксіального кабелю.

Використання ретранслятора дозволяє збільшити довжину лінії, наприклад при використанні інтерфейсу 10BASE5 з коаксіальним кабелем згідно стандарту IEEE 802.3 довжина лінії передавання з застосуванням ретрансляторів збільшується з 500 м до 2500 м.

Ретранслятор є рівно доступним для всіх DTE (Data Terminal Equipment – Прикінцеве обладнання Даних). Ретранслятор є неадресуємим елементом мережі та не зберігає отримані пакети інформації. Для зіркової топології мережі ретранслятори забезпечують функцію розподілення даних.

Ретранслятор приймає дані, відновлює форму сигналу та тактові інтервали і одночасно передає дані на всі інші порти. За умови появи на ретрансляторі колізії він ретранслює стан колізії в мережі всім підключеним до

портів пристроям. Ретранслятор здатний перервати приймання потоків з невірною (занадто довгою) довжиною.

Оскільки ретранслятор передає отриману інформацію всім під'єднаним до нього DTE це збільшує навантаження на всі сегменти, мережі, що підключені до нього.

Ретранслятори використовуються лише в напівдуплексному режимі роботи мережі.

Ретранслятори працюють лише з однією (фіксованою) швидкістю під'єднаних до нього пристроїв. Повні функції ретранслятора та рекомендації, щодо його застосування описані в стандарті IEEE 802.3.

Ретранслятори є пристроями, що працюють на першому рівні OSI.

Концентратор (Hub):

Призначений для з'єднання сегментів мережі, створенням багаторангової мережі, а також для створення однорангових сегментів мережі на витих парах та оптичному волокні.

Концентратор як і ретранслятор приймає дані, відновлює форму сигналу та тактові інтервали і одночасно передає дані на всі інші порти. За умови появи на концентраторі колізії він ретранслює стан колізії в мережі всім підключеним до портів концентраторам нижчого рівня (тим концентраторам, що підключені до нього) та DTE, що прямо підключені до нього.

Концентратор (як і ретранслятор) передає отриману інформацію всім під'єднаним до нього ПОД, що збільшує навантаження на всі сегменти, мережі, що підключені до нього.

Концентратор (як і ретранслятор) працює лише з однією (фіксованою) швидкістю під'єднаних до нього пристроїв (DTE). Повні функції концентратора та рекомендації, що до його застосування описані в стандарті IEEE 802.3.

Концентратори є пристроями, що працюють на першому рівні OSI.

Micm (Bridge):

Використання мосту зменшує навантаження на сегменти мережі, що підключені до нього, оскільки міст передає отриману інформацію (аналізуючи адресу пакету) лише тому DTE котрому вона призначалась, це також збільшує конфіденційність інформації.

На відміну від ретранслятора та концентратора, частини мережі з'єднані за допомогою мосту є різними доменами виявлення колізії. Таким чином міст є пристроєм, що розділяє домени виявлення колізій (за рівнями структурованості мережі). Кожна система що з'єднана з мостом є окремим доменом виявлення колізій.

Отже стан колізії виявлений в одному колізійному домені не передається в інший сегмент мережі.

Міст згідно IEEE 802.1D повинен (на відміну від ретранслятора та концентратора) повинен отримати пакет цілком і лише після цього починає його передавання. Таким чином міст збільшує (порівняно з ретранслятором та концентратором) затримку при передаванні інформації від DTE до DTE

Мости здатні працювати з різними швидкостями під'єднаних до них пристроїв (DTE).

Це дає змогу обмінюватись даними в одному сегменті мережі з однією швидкістю, та обмінюватись з іншими сегментами мережі з іншою швидкістю.

Повні функції мосту та рекомендації, щодо його застосування описані в стандарті IEEE 802.1D та IEEE 802.1Q.

Мости є пристроями, що працюють на другому рівні OSI.

Комутатор (Switch):

Згідно термінології стандарту IEEE 802.3 комутатор є синонімом терміну міст.

Комутатори є пристроями, що працюють на другому рівні OSI.

Існує велика кількість різних типів комутаторів від різних виробників. Комутатори розрізняють за розміром таблиці MAC-адрес, сферою застосування та алгоритмом комутації пакетів:

- магістральні з таблицею від 30000 MAC-адрес та більше 8000 MAC-адрес на один порт (використовують для об'єднання великих мереж і підключення до магістрального кабелю);
- базові з таблицею від 8000 MAC-адрес та більше 512 MAC-адрес на один порт (використовують для об'єднання концентраторів та комутаторів всередині мережі);
- комутатор робочих груп з таблицею від 256 MAC-адрес і зазвичай з одним MAC-адресом на порт (використовують замість звичайних концентраторів для розвантаження мережі).

Широко застосовуються два типи комутації:

- store-And-Forward (запам'ятати та передати) – комутатор приймає весь пакет даних до кінця, перевіряє пакет на неушкодженість і неушкоджені пакети пересилає адресату, а ушкодження відкидає. При такому варіанті комутації затримка в передаванні дорівнюватиме тривалості пакету;
- cut-Trough (наскрізне передавання) – приймає лише заголовок пакету котрий містить MAC-адресу і одразу починає передавання пакету за MAC-адресою, при цьому пакет не перевіряється на правильність. Зазвичай такий метод використовується в магістральних комутаторах.

Наскрізне передавання неможливо організувати при передаванні інформації від менш швидкісного комутатора до більш швидкісного, оскільки в

цьому разі виникнуть помилки, щоб уникнути котрі потрібна буферизація кадрів пакету.

Маршрутизатор (Router):

Маршрутизатор дає змогу з'єднувати сегменти мережі з різними мережними протоколами (на відміну від мостів та комутаторів) та виконує всі функції, що притаманні мостам та комутаторам.

Маршрутизатори є пристроями, що працюють на третьому рівні OSI.

Шлюз (gateway)

Переводить інформацію з мережі з одним мережним протоколом в мережу з іншим мережним протоколом.

Шлюз є пристроєм, що працює на сьомому рівні OSI (власне сама технологія Ethernet охоплює лише три перші рівні моделі OSI).

Об'єднувач (combiner)

Об'єднує кілька потоків Ethernet, маршрутизує їх, вносить кодування інформації для забезпечення певного рівня достовірності передавання інформації в мережі та переводить об'єднаний потік у формат даних прийнятий в мережах OTN.

Об'єднувач є пристроєм, що працюють на третьому рівні OSI.

За допомогою об'єднувача локальні мережі (LAN (Local Area Network)) можуть під'єднуватись до первинної мереж зв'язку загального користування.

Для Ethernet мереж побудованих на оптичному волокні можуть знадобитись також інші пристрої наприклад хвильові конвертори, розгалужувачі, притаманні ВОСП.

Мережні параметри Ethernet

Якість побудови мережі – якість скрутки пар, з котрих знято оболонку; якість з'єднань та якість монтажу кабелю; виконання норм, що до мінімального радіусу вигину для кабелів; виконання норм, що до допустимих довжин ділянок кабельних ліній.

Цей параметр впливатиме на працездатність, якість та довговічність роботи мережі.

MRT (maximum round-trip time) – час за котрий пакет гарантовано проходить по каналам зв'язку від джерела до отримувача і джерело здатне визначити наявність колізії (для цього потрібно щоб ушкоджений пакет дійшов назад по лінії до джерела).

Цей параметр впливає на геометричні параметри мережі обмежуючі довжини сегментів мережі.

Енергетичний бюджет – мінімальна оптична потужність достатня для прийому сигналу, з заданим рівнем коефіцієнту помилок, враховуючи

ослаблення сигналу в лінії між передавачем та приймачем включно з штрафами за оптичний шлях, розрахована як різниця між мінімальною потужністю на виході передавача та мінімальною потужністю на вході приймача.

Цей параметр також впливає на геометричні параметри мережі обмежуючі довжини сегментів мережі.

Максимальна пропускна спроможність каналу зв'язку – максимальний об'єм даних, котрий можна передати від джерела до приймача за одну секунду. В ідеалі пропускна спроможність каналу дорівнюватиме швидкості передавання, однак оскільки кадри мають кінцеву довжину та міжкадровий інтервал. На визначення параметру впливає наявність втрачених пакетів.

Параметр характеризує продуктивність роботи мережі.

Процент втрачених пакетів – число втрачених пакетів, виражене в процентах по відношенню до успішно переданих пакетів від загальної кількості переданих кадрів.

Параметр характеризує продуктивність роботи мереж, оскільки втрата пакетів відбувається в наслідок помилок, перенавантажень мережі, та великого значення затримки.

Параметри обладнання мережі Ethernet

Пропускна спроможність – максимальна швидкість з якою пакети інформації передаються через проміжні пристрої мережі (концентратори, комутатори, маршрутизатори) адресатам.

Затримка – проміжок часу між отриманням пакету інформації від відправника та передаванням його адресату.

Параметр впливає на продуктивність роботи мережі

Втрати на відбиття – return loss (optical return loss) втрати на відбиття характеризують узгодженість пристрою системи і визначаються як відношення потужності на вході пристрою до потужності, відбитої від входу пристрою, виражене в дБ.

Середня потужність на виході передавача – середнє значення від максимальної та мінімальної потужності на вході передавача. Параметр впливає на енергетичний потенціал системи, нелінійні параметри лінії зв'язку та довжину лінії зв'язку.

Мінімальна чутливість приймача – мінімальний рівень сигналу, за якого система ще здатна до прийому при допустимій якості роботи системи. Параметр наводиться для розрахунку максимальної довжини лінії зв'язку.

Мінімальний рівень перенавантаження приймача – максимальний рівень сигналу, за якого система ще здатна до прийому при допустимій якості роботи

системи. Параметр наводиться для розрахунку мінімальної довжини лінії зв'язку.

Форма сигналу (око-діаграма) на виході передавача – відповідність вихідного сигналу заданим параметрам. Параметр визначає здатність обладнання формувати сигнали з заданими параметрами.

Номінальна несівна частота – частота (довжина хвилі), що відповідає максимуму енергетичного спектра сигналу (електромагнітної хвилі або оптичного випромінювання), який використовують для формування каналного сигналу, називається несівною частотою (довжиною хвилі).

Повне фазове тремтіння – (складається з детермінованого (власного) та випадкового (тремтіння викликане випадковими чинниками) фазового тремтіння). Параметр вказує на здатність обладнання формувати цифровий потік з визначеними параметрами.

Для радіопередавачів важливим також буде *коефіцієнт направленості антени* – котрий показує у скільки разів потрібно збільшити потужність, що підводиться до ізотропної антени (точковий випромінювач, котрий рівномірно випромінює радіохвилі у всіх напрямках), щоб вона створювала в точці прийому таку ж напруженість поля, що й направлена антена.

Методи контролю низки параметрів Ethernet

Методи контролю та фізичні параметри, що контролюються для інтерфейсів обладнання Ethernet наведені в стандарті IEEE 802.3, доповненні до цього стандарту IEEE 802.3ae для інтерфейсів 10 Гбіт/с та інших доповненнях, методика проведення цих тестів тотожна методиці проведення тестів для фізичних параметрів інтерфейсів обладнання SDH, тощо.

Методи контролю та фізичні параметри, що контролюється для інтерфейсів обладнання радіо Ethernet наведені в стандарті EN 300 328.

Документ RFC 2544 визначає методику тестування мережі Ethernet, критерії тестування та інтерпретацію результатів.

Методика RFC 2544 містить шість тестів, що проводяться з виводом обладнання з експлуатації:

- продуктивність (throughput);
- затримка (latency);
- рівень втрати пакетів (FRAMES Loss rate) (процент втрачених пакетів);
- тест Back-to-back (максимальна пропускна спроможність);
- відновлення системи (SYSTEM RECOVERY);
- повернення у похідний стан (RESET).

Для еталонного тестування мережного пристрою після його прийняття або встановлення використовують наступні схеми тестування (рисунки 10.13, 10.14, 10.15):



Рисунок 10.13 — Один випробувальний пристрій і два пристрої, що випробовуються

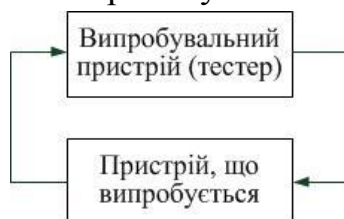


Рисунок 10.14 — Один випробувальний прилад та один пристрій, що випробовується

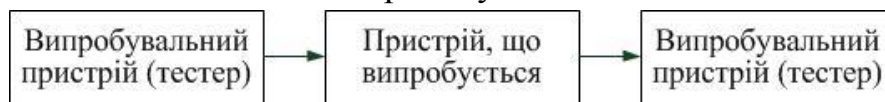


Рисунок 10.15 — Два випробувальних прилади та один пристрій, що випробовується

Оскільки розмір кадру є змінним параметром: 64, 128, 256, 512, 1024, 1280 і 1518 байтів, кожне вимірювання проводиться окремо для кожного вказаного розміру кадру.

Продуктивність (throughput)

Випробування починається з 10% завантаження каналу, передаванням певної кількості кадрів певної довжини. При втраті хоч одного кадру випробування повторюється на більш низькій швидкості цей процес повторюється до поки не визначена максимальна продуктивність.

Затримка (latency)

Випробування виконується при фіксованому рівні навантаження каналу впродовж певного часу. Вимірюється час затримки окремих кадрів з часовими мітками і фіксується мінімальний час затримки за певний період. Час затримки вираховується як середнє арифметичне від загальної кількості вимірів.

Рівень втрати пакетів (FRAMES Loss rate) (процент втрачених пакетів)

Випробування починається зі 100% завантаження каналу, посиленням встановленої кількості кадрів і реєстрацією проценту втраченого при цьому кадрів. Завантаження каналу зменшується (на задану кількість) і випробування повторюється.

Тест Back-to-back (максимальна пропускна спроможність)

Тест визначає максимальну кількість кадрів посланих почергово (один за одним) з мінімальним терміном IPG, котре пристрій, що випробовується, може опрацювати без втрати кадрів.

Відновлення системи (SYSTEM RECOVERY)

Визначається час, що потрібний обладнанню, що випробовується, для зупинки втрати кадрів, коли швидкість передавання кадрів зменшена від більш ніж 100% до нормальної.

Пристрій, що випробовується знаходиться в продовж певного часу під великим рівнем трафіку, потім трафік зменшується, час між падінням швидкості передавання кадрів і останнім втраченим кадром усереднюється для кількох тестів.

Повернення у похідний стан (RESET)

Визначається час, котрий потрібен обладнанню, що випробовується, для того щоб почати передавання кадрів після апаратного чи програмного переривання подавання напруги. (Цей тест на відміну від інших проводиться лише для кадрів, що мають мінімальну довжину).

Затримка між останнім переданим кадром перед скиданням і першим кадром після скидання показує час скидання. Випробування проводиться для кожного типу скидання.

10.6 IP

Основи Інтернет.

Інтернет (Internet) – всесвітня інформаційна система загального доступу, яка логічно зв'язана глобальним адресним простором та базується на Інтернет-протоколі, визначеному міжнародними стандартами.

Терміном Інтернет також визначають як всесвітня система взаємополучених комп'ютерних мереж, що базуються на комплекті Інтернет-протоколів і складається з усіх локальних і глобальних приватних, публічних, академічних, ділових і урядових мереж, котрі знаходяться у взаємодії між собою.

Інтернет становить фізичну основу для розміщення інформаційних ресурсів і послуг, таких як взаємопов'язані гіпертекстові документи всемережжя – WWW (World Wide Web), електронна пошта, тощо.

Перший у світі веб-сайт з'явився 6 серпня 1991 року. <http://info.cern.ch/> його творець Тім Бернерс-Лі (Tim Burners-Lee) опублікував на ньому опис нової технології World Wide Web (WWW), заснованої на протоколі передачі даних HTTP (hyper text transfer protocol – протокол передачі гіпер-текстових документів), системі адресації URI (uniform resource locator – єдиний вказівник

на ресурс) і мові гіпертекстової розмітки HTML (hyper text markup language – мова розмітки гіпертекстових документів).

Документ HTML оброблюється браузером та відтворюється на екрані у звичному для людини вигляді.

Для знаходження один одного елементи мережі Інтернет використовують IP адреси.

IP-адреса – номер комп'ютера в мережі. Цей номер необхідний для того щоб знайти потрібний комп'ютер в мережі Інтернет.

Доменне ім'я – унікальне символічне позначення (може містити букви цифри, дефіс), котре складається з кількох полів розділених між собою крапкою. Ім'я домену читається з ліва на право та має ієрархічну структуру котра читається з право на ліво. Крайнє праве поле доменного імені є доменом верхнього рівня, потім другого рівня і третього рівня. Верхній рівень домену є юридичною особою та здійснює керування та стратегію регулювання домену. Другий рівень визначає юридичну особу котра реєструє ваш сайт, а третій рівень юридичну або фізичну особу котрій належить сайт.

Доменне ім'я може бути активним, тобто реально інформативно представлену у всемережжі або пасивним тобто просто закріпленим за певною особою, що унеможливорює використання такого імені іншою особою.

Якщо доменне ім'я активне, то воно має IP адресу.

При пошуку у всемережжі (WWW) потрібного сайту, ми вводимо у вікно браузера (*браузер* – програма що робить можливим перегляд веб-сайтів всемережжя і роботу з ними, (Web-оглядач)) доменне ім'я, комп'ютер переводить його у IP адресу і за допомогою клієнтських програм звертається до серверних програм з пошуком потрібного IP адресу та порту (*порт* – номер котрий вказує серверну програму на вибраному комп'ютері).

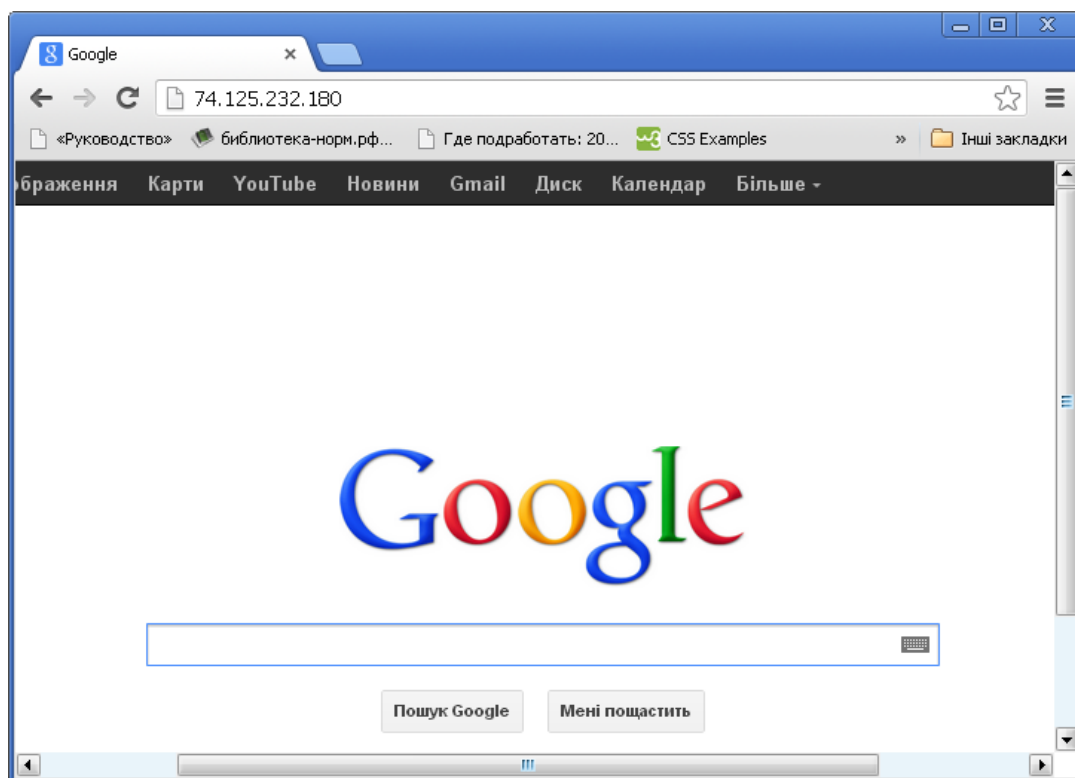
Наприклад відкривши командну строку операційної системи Windows та скориставшись утилітою (*утиліта* – допоміжна комп'ютерна програма, що входить до складу програмного забезпечення та виконує спеціалізовану задачу) Ping введемо наприклад доменне ім'я google.com та натиснемо ввід:

ping www.google.com

отримуємо адресу 74.125.232.180 (для різних країн ім'я www.google.com може мати різні комп'ютери і показувати іншу IP адресу)

Тепер якщо ми введемо у вікно браузера знайдену IP адресу і вкажемо порт (для даного прикладу це порт :80 (порт веб-серверу), то отримуємо:

74.125.232.180:80



Правила за котрими клієнтські та серверні програми взаємодіють між собою називаються *протоколом*.

Так поштова програма взаємодіє з поштовим сервером, Web-оглядач з WEB-сервером FTP-клієнт з FTP-сервером і т.д.

Інтернет використовує різні протоколи. Наприклад:

Протокол ICMP (Internet Control Message Protocol) (RFC 792 та RFC 950). Протокол відповідає за між мережні повідомлення, з його допомогою комп'ютери обмінюються інформацією (про наявність помилок та їх типів, про доступність вузлів, тощо). Наприклад коли дейтаграма (*дейтаграма (datagram)*) – блок інформації, посланий як пакет мережевого рівня через середовище передачі інформації (ефір, мідну жилу, оптичне волокно, тощо) без попереднього встановлення з'єднання і створення віртуального каналу) не може бути доставлена адресату, або буфер вузла переповнений і т.д)

Повідомлення ICMP маршрутизуються так само як і будь які інші дейтаграми, без пріоритетів, тому можуть так само втрачатись, крім того вони створюють додаткове навантаження на мережу, для зменшення негативного впливу на мережу повідомлення ICMP не можуть створювати нові повідомлення ICMP.

Протокол FTP (File Transfer Protocol). Протокол передачі файлів (RFC-959). Наприклад для завантаження файлів для відображення на власному сайті на комп'ютер де розташований сайт котрий здійснює хостинг (*хостинг (hosting)* – послуга з розміщення інформації, електронних обчислень або обладнання на площадці провайдера). При FTP обміну між двома вузлами створюється два

канали, По одному передається службова інформація і команди, а по другому відбувається власне обмін даними.

Протокол HTTP (Hyper Text Transfer Protocol) (RFC 2616). Протокол потрібний для обміну гіпертекстовою інформацією, відповідає за передачу HTML сторінок в мережі. Браузери котрими користувач відкриває веб-сторінки в мережі Інтернет, є HTTP клієнтами.

Протокол POP (Post Office Protocol). Протокол пошти. Протокол POP3 це третя версія протоколу POP (RFC 1939). Поштові сервери передають за допомогою цього протоколу електронну пошту клієнтам.

Протокол SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) (RFC 821 та RFC 2821). Протокол для відправки електронної пошти від користувача іншим користувачам мережі.

Протокол IMAP (Internet Message Access Protocol) RFC 2060 та RFC 3501. Поштовий протокол за допомогою користувач отримує електронну пошту не на свій комп'ютер, а на сервер, де і читає її.

Протокол PPP (Point-to-Point Protocol) (RFC 1661). Протокол відповідає за конфігурацію, виявлення помилок, безпеку при передачі даних.

Протокол OSPF (Open Shortest Path First). Протокол для передачі пакетів в комп'ютерних мережах, остання версія представлена у RFC 2328.

IP (Internet Protocol) (RFC 791 та RFC 1883) Протокол відповідає за адресацію дейтаграм (datagram) блоків (одиниць) інформації котрі посилаються через середовище передачі без встановлення попереднього з'єднання і створення віртуального каналу. Кожна дейтаграма передається від вузла до вузла і проходить обробку на вузлах незалежно від інших дейтаграм.

На тепер в мережі Інтернет відбувається перехід від четвертої версії протоколу IP на шосту версію (IPv4 на IPv6).

IPv4 це ще широко застосовувана версія протоколу, використовує 32 бітні адреси, що обмежує адресний простір з унікальних IP адрес у 4 294 967 296 (2³²) адреси.

Традиційно IP адреса в IPv4 записується десятинними числами з розділенням крапкою. Наприклад як в наведеному вище прикладу для сайту google це: 74.125.232.180

Дейтаграми котрі пересилаються Інтернет протоколом, окрім даних котрі передаються, мають заголовок наступного формату (для IPv4):

Версія протоколу	Довжина заголовку	Тип сервісу	Повна довжина дейтаграми	
Ідентифікатор			Прапорець	Вказівник фрагменту
Тривалість життя		Протокол	Контрольна сума заголовку	
IP-адреса відправника				
IP-адреса отримувача				
IP-опції				
Дані				

Де:

Версія (Version) поле в чотири біта, вказує на версію IP протоколу. За несумісності версій дейтаграма буде відкинута.

Довжина IP заголовку (IP Header Length – HLEN) поле в чотири біта, описує довжину заголовку дейтаграми у 32 бітових блоках. Це значення це повна довжина заголовка з врахуванням двох полів перемінної довжини

Тип обслуговування (Type of Service – TOS) восьмибітове поле, вказує на ступінь важливості інформації котра присвоєна протоколом вищого рівня

Повна довжина (Total Length) шестнадцятибітове поле, описує повну довжину дейтаграми в байтах, включно з даними та заголовком. Для обчислення довжини блоку даних, потрібно з повної довжини відняти значення поля LEN.

Ідентифікація (Identification) шестнадцятибітове поле, зберігає ціле число, що є послідовним номером і описує дейтаграму

Прапорці (Flags) трьохбітове поле, в котрому два молодших біта контролюють фрагментацію пакетів, з них перший біт визначає чи була дейтаграма фрагментована, чи було пакет фрагментовано, а другий біт вказує на те чи є цей IP фрагмент останнім в серії фрагментів дейтаграми.

Зсув фрагментації (Fragment Offset) тринадцятибітове поле, допомагає зібрати разом фрагменти дейтаграми.

Тривалість життя (TimeToLive – TTL) восьмибітове поле, в котрому зберігається значення лічильника котре зменшується до нуля. При досягненні нуля дейтаграма буде відкинута, цим досягається уникнення за циклювання при пересилання дейтаграми нескінченного числа разів.

Протокол (Protocol) восьмибітове поле, що вказує який протокол верхнього рівня отримує пакет після того як обробка протоколом IP буде завершена (наприклад протокол TCP)

Контрольна сума заголовку (Header Checksum) шестнадцятибітове поле, котре допомагає перевірити цілісність заголовку пакету

IP адреса відправника (Source IP address) 32 бітове поле, що містить IP адресу вузла відправника

IP адреса отримувача (Destination IP address) 32 бітове поле, що містить IP адресу вузла отримувача.

Опції (Options) поле перемінної довжини, призначене для можливості реалізації протоколом IP різноманітних опцій, наприклад засобів безпеки.

Доповнення (Padding) поле, для вставки додаткових нулів щоб зберегти кратність IP заголовку 32 бітам.

Данні (Data) поле перемінної довжини (максимум 64 кбіт), містить інформацію вищих рівнів.

IPv6 це нова версія протоколу котра має вирішити проблему нестачі унікальних IP адрес котра наявна у IPv4, оскільки IPv6 використовує 128 бітну довжину адресу, замість 32.

У червні 2012 року відбувся офіційний всесвітній запуск IPv6.

Коротко IPv4 та IPv6 можна порівняти наступним чином:

Параметр	IPv4	IPv6
Рік виходу RFC	1981	1999
Розмір IP адреси	32 бітна	128 бітна
Кількість унікальних IP адрес (або хостів (<i>host</i> – господар, який приймає гостей))	4 294 967 296	$3,4 \times 10^{38}$
Формат запису IP адреси	Десятинні числа розділені крапкою	Шістнадцятирічні цифри розділені двокрапкою.

Дейтаграми котрі пересилаються Інтернет протоколом, окрім передаваних даних мають заголовок наступного формату (для IPv6):

Версія протоколу	Пріоритет	Мітка протоколу	
Довжина даних		Наступний заголовок	Число переходів
IP-адреса відправника			
IP-адреса отримувача			
IP-опції			
Дані			

Де:

Версія (Version) поле в чотири біта, вказує на версію IP протоколу. За несумісності версій дейтаграма буде відкинута.

Пріоритет (Prio) поле в чотири біта. Поле дозволяє відправнику призначати певний рівень пріоритету по відношенню до інших дейтаграм котрі відправляються. Можливі 16 значень (значення від 0 до 7 для дейтаграм котрі можуть не передаватись за умови перевантаження лінії, а від 8 до 15 для тих котрі мають передаватись за будь якого навантаження окрім обриву).

Мітка протоколу (Flow Label) поле в двадцятьчотири біта. Мітка потоку. В цьому полі відправником встановлюється мітка для дейтаграм котрі потребують спеціальної обробки мережними вузлами. Якщо встановлена мітка 0 (нуль) то поле ігнорується при обробці дейтаграми.

Довжина даних (Payload Length) поле в шістнадцять біт. Довжина даних пакету за заголовком. На відміну від поля Payload Length поле Total Length для IPv4 враховує довжину заголовку.

Наступний заголовок (Next Header) поле вісім біт. Поле наступного заголовку містить інформацію типу заголовку котрий йде наступним за заголовком IPv6.

Число переходів (Hop Limit) поле вісім біт. Поле обмеження пересилань. Величина в полі зменшується на одиницю при проходженні дейтаграмою мережного вузла. При досягненні нуля дейтаграма знищується.

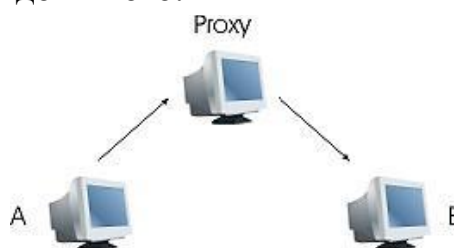
IP адреса відправника (Source IP address) 128 бітове поле, що містить IP адресу вузла відправника

IP адреса отримувача (Destination IP address) 128 бітове поле, що містить IP адресу вузла отримувача.

Протокол TCP (Transmission Control Protocol) (RFC 793) призначений для управління передачею даних в мережі Інтернет та відповідає за гарантовану доставку пакетів (блоків (одиниць) інформації в протоколах з надійною передачею даних) при передачі інформації.

Різниця в термінах дейтаграма і пакет в тому, що термін дейтаграма використовують для протоколів без гарантованої передачі, а пакет для протоколів з надійною передачею, окрім того для TCP/IP різниця обумовлена тим, що для передачі дейтаграми під час інкапсуляції (*інкапсуляція* – механізм поєднання даних та методи котрі маніпулюють цими даними і захищають їх від зовнішнього впливу) вона може бути розділена на фрагменти для задоволення вимог конкретної технології середовища передачі даних. Термін IP-пакет визначає модуль даних котрий передається каналному рівню для інкапсуляції в кадр. На мережному рівні IP-дейтаграма є інкаспуліруючим модулем даних, а IP-пакет інкаспуліруємим.

Важливим елементом при роботі в мережі Інтернет є проксі-сервер. *Проксі-сервер* (проху – представник) – проміжний комп'ютер через котрий один комп'ютер підключається до іншого.



Проксі-сервер вирішує кілька проблем:

- вхід в Інтернет через проксі-сервер полегшує завдання адміністрування вашого сегменту мережі його захисту та контролю за ним. Проксі-сервери мають більшу потужність і здатність для захисту від зовнішніх атак, що забезпечує ваш комп'ютер від прямого відвідання з інших віддалених комп'ютерів;
- використання проксі-серверів допомагає користувачам обійти прямі заборони відвідування різних сайтів котрі закриті адміністрацією вашого сегменту мережі, адже ви з'єднуєтесь з комп'ютерами на котрих розташовані ці сайти не на пряму, а через посередника у вигляді проксі-серверу;
- проксі-сервер може замінювати вашу IP адресу і надавати таким чином анонімності відвідання вами інших комп'ютерів на котрих розташовані сайти які ви відвідували. Оскільки їх власники можуть бачити IP-адресу не вашу, а вашого проксі-серверу. Однак проксі-сервер маскуючи вашу IP-адресу від власника комп'ютера котрий ви відвідали, може залишати ваші данні для власників проксі-серверу. А комп'ютер до которого ви підключались може надіслати запит до проксі-сервера за інформацією, хто саме підключавсь до нього і таким чином вашу IP-адресу швидко встановлять;
- якщо проксі-сервер змінює інформацію про вашу адресу і не веде файл обліку IP адрес комп'ютерів котрі його відвідали, то такий проксі-сервер називають анонімним (анонімайзером). Більшість так званих анонімайзерів котрі розповсюджені у відкритих джерелах, насправді ведуть файл обліку IP-адресу комп'ютерів котрі їх відвідали;
- перевірити дійсну анонімність котру надає анонімайзер можна лише у власника анонімайзеру. Однак у всемережжі є спеціалізовані ресурси, котрі надають змогу перевірити дійсну анонімність тих анонімайзерів котрими ви користуєтесь, це не дає повної гарантії, але забезпечує декотрою мірою.

Для збільшення шансів на анонімність можна скористатись ланцюгом з проксі-серверів.

Але програма з котрою ви працюєте має вміти працювати через проксі-сервер. Якщо програма не має таких властивостей то працювати з віддаленим комп'ютером через проксі-сервер ви не зможете.

Voice over IP та Video over IP.

Передачу голосу за допомогою IP, можна здійснювати наступними способом:

- комп'ютер – комп'ютер;

Голосовий трафік транслюється через мережу передачі даних, без здійснення телефонної мережі. Для організації такого зв'язку потрібна телефонна гарнітура та відповідне програмне забезпечення.

- комп'ютер – телефон;

При такому варіанті голосовий трафік частково задіює телефонну мережу, а для його організації потрібне спеціальне обладнання на станційній стороні для організації шлюзу між IP мережею та телефонною мережею та наявність телефону з тональним набором.

- телефон – телефон;

При такому варіанті голосовий трафік проходить IP мережу лише на окремій ділянці, а вартість з'єднання буде дорожче чим в попередніх варіантах.

- WEB – телефон.

Комерційна послуга котра дозволяє здійснювати дзвінок обравши на певному сайті конкретного абонента і здійснивши виклик натиснувши курсором на відповідне посилання. Для цього також потрібне спеціальне програмне забезпечення.

Під IP телефонією розуміють двосторонню передачу голосових та відео повідомлень по IP мережі. При цьому IP телефонія є лише частиною поняття Voice over IP, оскільки передача звуку через IP мережу може здійснюватись в інших випадках, наприклад в системах відеоспостереження, оповіщення, WEB-конференціях.

В IP телефонії найбільш розповсюдженими протоколами є **H.323** (відповідно до рекомендації ITU-T H.323), **SIP** (Session Initiation Protocol – протокол встановлення сеансу) та **MGCP** (Media Gateway Control Protocol) – протокол управління шлюзами між IP-мережею та ТМЗК (телефонна мережа загального користування), та його подальшим розвитком ITU-T H.248, існують і інші популярні протоколи Voice over IP, наприклад **Skype**. В короткому огляді ці протоколи описано нижче.

Н.323

Мережі з групою протоколів Н.323 є першою спробою інтеграції мережі ТМЗК з IP мережею. Протоколи Н.323 описані у відповідній рекомендації ІТУ-Т Н.323.

Ця рекомендація описує складний набір протоколів котрі відповідають за різноманітні функції при встановленні з'єднання між кінцевими пристроями мережі.

Зокрема:

Н.245, Н. 225, Q.931 – управління з'єднанням та сигналізація.

G.7xx – обробка звукових сигналів. Ці протоколи описані у відповідних рекомендаціях ІТУ-Т G.711, G.722, G.723, G.728, G.729

Н.261, Н.263 – обробка відео сигналів.

T.120 – організація конференц-зв'язку.

Н.235 – безпека .

Н.450.x – додаткові послуги.

RTP (Real-time Transport Protocol) та RTCP (Real-time Transport Control Protocol) – забезпечують мультимедійну передачу. Описані у RFC 3550

Загалом пристрої мережі у Н.323 можна поділити на такі категорії:

- *Термінали* – кінцеві пристрої мережі котрі забезпечують двосторонній зв'язок в реальному часі і можуть не належати до Н.323.
- *Шлюзи* – забезпечують взаємодію між терміналами різних виробників.
- *Брамники* (Gatekeeper) – виконують функції контролю викликів, наприклад трансляцію адрес. Брамник є головним елементом, через котрий відбувається взаємодія елементів мережі.
- *Точки багатопунктового доступу* (Multipoint Control Unit — MTU) – забезпечують можливість проведення конференцій.

Всі елементи мережі отримують свою IP адресу. Процес виконання з'єднання відбувається наступним чином:

1. Пошук і реєстрація (Брамник знаходить необхідний термінал або шлюз та реєструє його).
2. Встановлення виклику (виконують шлюзи з підтвердженням брамника на можливість дзвінка).
3. Сигнальний потік (шлюзи здійснюють обмін сигнальними повідомленнями).
4. Встановлення з'єднання і обмін даними. (створюються логічні канали по котрим відбувається обмін інформацією користувачів).
5. Завершення з'єднання (ініціатори можуть виступити термінали, шлюзи або брамники).

У випадку якщо шлюзи знають потрібні IP адреси один одного, то можливо встановити зв'язок без брамника.

MGCP

MGCP (Media Gateway Control Protocol) – протокол для управління шлюзами між IP-мережею і ТМЗК, описано у RFC 2705, а подальший розвиток протоколу описано у рекомендації ITU-T H.248.

Пристрої мережі у MGCP можна поділити на такі категорії:

- кінцеві точки – точки з'єднання мережі IP та ТМЗК. Можуть бути як фізичними так і логічними;
- шлюзи – вузли з'єднання кінцевих точок, котрі фіксують події та доповідають про них телефонному агенту;
- телефонний агент MGC (Media Gateway Controller)– центр керування, здійснює керування шлюзами, надсилаючи їм повідомлення про потрібні дії та ініціює всі етапи при здійсненні VoIP з'єднання.

Фактично протокол MGCP та H.248 на відміну наприклад від H.323 централізують обробку сигнальної інформації забираючи ці функції у кінцевих абонентських терміналів.

IP телефонія надає абонентам значні переваги в зниженні вартості дзвінка, мобільності абонента в мережі Інтернет, тощо

Найбільш критичними проблемами впровадження VoIP є проблемні параметри IP мережі:

- затримка;

Сумарна затримка має бути менша за 250 мс і включає в себе затримку на абонентських терміналах (як правило не більше $90 \div 100$ мс) та затримку при передаванні голосу в IP мережі котра повинна бути не більше 150 мс, але на практиці за умови втрати пакету може сягати нескінченості. В цілому затримка в IP мережі залежить від маршруту котрим передаються пакети, тривалості обробки пакетів в вузлах мережі та завантаженістю самої IP мережі.

- дрижання (jitter);

Виникає в наслідок отримання пакетів через нерівні проміжки часу та, у відмінній від відправлення, послідовності, що призводить до порушення сприйняття інформації, що передається.

Для уникнення дрижання, використовують компенсаційний буфер, котрий накопичує вхідні пакети, котрі надходять з різною затримкою, вирівнює її, та передає їх абоненту вже з фіксованою рівною затримкою та правильною послідовністю. При цьому буфер має бути динамічним і розширюватись та звужуватись в залежності від величини дрижання.

-
- втрата пакетів.

Подібна вада для прийнятної якості розмови не має перевищувати $3 \div 5\%$ і може компенсуватись різними процедурами інтерполяції мови. В IP телефонії використовують протокол UDP котрий не гарантує доставку пакетів, оскільки в IP телефонії не можливо здійснити процедури TCP протоколу і здійснити повторний запит втрачених пакетів.

Окрім того втрата пакетів може відбуватись за наявності надто значного дрижання, величина котрого перевищує максимально можливий розмір буферу компенсації.

SIP

SIP (Session Initiation Protocol – протокол встановлення сесії) – протокол прикладного рівня, розроблений IETF¹², і пропонується як стандарт на спосіб встановлення, зміни і завершення користувацького сеансу, що включає мультимедійні елементи, такі як відео або голос, миттєві повідомлення (instant messaging), он-лайн ігри та віртуальну реальність.

Протокол описує, яким чином клієнтський додаток (обладнання) може зробити запит на початок з'єднання у іншого клієнта мережі, використовуючи його унікальне ім'я.

Протокол визначає спосіб узгодження відкриття каналів обміну інформацією між клієнтами. Протокол дозволяє додавання і видалення таких каналів в продовж сеансу зв'язку, а також підключення і відключення інших клієнтів (конференц-зв'язок). Протокол також визначає порядок завершення сеансу зв'язку.

SIP-адреси бувають чотирьох типів (причому на початку SIP адреси ставиться слово – sip:, оскільки існують інші протоколи з іншою адресацією):

- sip: ім'я @ домен;
- sip: ім'я @ хост;
- sip: ім'я @ IP-адресу;
- sip: № телефону @ шлюз.

Повідомлення SIP-протоколу мають наступну структуру:

- стартовий рядок (start-line);
- заголовки повідомлення (* message-header);
- порожній рядок (CRLF);
- повідомлення.

¹² Internet Engineering Task Force – відкрите міжнародне співтовариство проектувальників, учених, мережесих операторів і провайдерів, створене у 1986 році, яке займається розвитком протоколів і архітектури Інтернету

Протокол SIP стандартизовано в документах RFC (Request for Comments – інформаційні документи Інтернет, що містять стандартизовану інформацію та технічні специфікації) RFC 2543 RFC 3261 RFC 3263 RFC 3265.

Протокол SIP дає змогу швидко збільшувати кількість клієнтів при збільшенні мережі, надає можливість отримувати сервіси зв'язку незалежно від місцезнаходження чи зміни місця знаходження користувача (головне, щоб він мав доступ до мережі). Також протокол SIP має можливість доповнення новими функціями (за рахунок введення нових заголовків і повідомлень).

Skype

Скайп (Skype) – це програмне забезпечення з закритим кодом для Інтернет-телефонії VoIP, створене двома підприємцями Нікласом Зеннстрьомом та Янусом Фріісом.

Користувачі Skype, роблять телефонні виклики й відеовиклики через комп'ютер, використовуючи програмне забезпечення Skype і Інтернет. Основа системи – безкоштовна комунікація між користувачами програмного забезпечення Skype; проте продукт також дозволяє користувачам Skype зв'язуватися з абонентами регулярної наземної лінії зв'язку чи мобільних телефонів. Це програмне забезпечення доступне безкоштовно й може бути завантажено з [веб-вузла компанії](#).

10.7 MPLS

MPLS (Multiprotocol Label Switching – багатопроTOCOLьна комутація за мітками) – механізм передачі даних, який емулює різні властивості мереж з комутацією каналів через мережі з комутацією пакетів.

Спрощено MPLS можна охарактеризувати як механізм додавання міток до пакетів і їх подальше використання при швидкісній комутації.

Мітка встановлюється між заголовком рівня каналу даних (другий рівень моделі OSI) та заголовком рівня мережі (третій рівень моделі OSI). Верхня межа стека міток відображена першою в пакеті, а нижня відображається останньою. Пакет мережного рівня безпосередньо йде після останньої мітки в стеку міток.

В [10.7] описано формат мітки і стека міток, а також процедури обробки міток (LSR). Мітка займає 32 біта і має формат, наведений на рисунку 10.16. Значення мітки (Label Value) займає 20 біт, тривалість життя мітки (TTL) 8 біт, біт 23 призначено для створення стеку міток і він дорівнює «1» для мітки в кінці стеку, біти 20 ÷ 22 зарезервовані для експериментального використання.

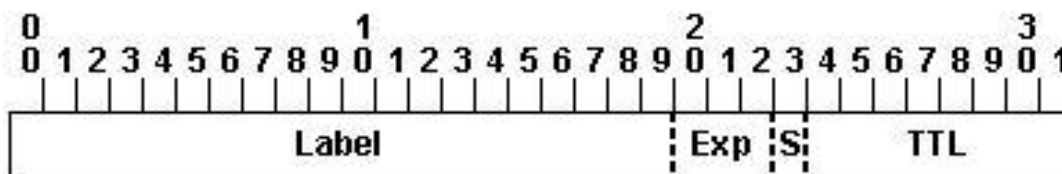


Рисунок 10.16 — Формат мітки.

Label – значення мітки (неструктуровано), 20 біт

Exp – експериментальне використання, 3 біти; в дійсний час використовуються в якості поля Class of Service (CoS) та маркується як *TC* – Traffic Class і містить в собі пріоритет пакету.

S – нижня межа стеку, 1 біт

TTL – тривалість життя, 8 біт

За допомогою MPLS можна передавати трафік найрізноманітнішої природи, такий як IP-пакети, SDH, Кадри Ethernet, тощо.

Терміни MPLS

Label – мітка. На основі мітки LSR приймає рішення, про те що робити з пакетом котрий він отримав (наприклад поставити додаткову мітку, передати пакет, тощо).

Label Stack – стек міток. Кожний пакет може мати від однієї до кількох міток, які розташовуються одна над одною, при цьому верхня мітка визначає що конкретно потрібно робити з пакетом.

LSR – Label Switch Router – будь якій маршрутизатор в мережі MPLS. LSR має 3 типи:

- Intermediate LSR – проміжний маршрутизатор MPLS – він виконує операцію заміну мітки (Swap Label).
- Ingress LSR – «вхідний», перший маршрутизатор MPLS – він виконує операцію додавання мітки (Push Label).
- Egress LSR – «вихідний», останній маршрутизатор MPLS – він виконує операцію видалення мітки (Pop Label).

Ingress LSR та Egress LSR є маршрутизаторами на границі мережі MPLS тому їх ще називають *LER – Label Edge Router*.

LSP – Label Switched Path – шлях переключення міток. Це однонаправлений канал від Ingress LSR до Egress LSR, по котрому буде передаватись пакет по MPLS мережі. Тоб-то послідовність LSR на шляху пакету в MPLS мережі.

LIB – Label Information Base – таблиця міток. Аналог таблиці маршрутизації в IP. В ній вказується для кожної вхідної мітки, що робити з пакетом

LFIB – Label Forwarding Information Base – база міток, до котрої звертається процесор, що зменшує час комутації.

LDP – Label Distribution Protocol – протокол розподілу міток – протокол за допомогою котрого в MPLS мережі два LER здійснюють двонаправлений обмін інформацією про відображення міток.

MPLS технологія описана в багатьох нормативних документах, зокрема в RFC 3031, 3032, 3270, 2547, 2702, 2917, 3035, 3063, 3346, 3353, 3429, 3443, 3468, 3469, 3471, 3472, 3473, 3474, 3496, 3564.

Говорячи про MPLS, часто мають на увазі можливості технології MPLS по організації VPN. Зокрема сервіси з використанням мережі MPLS як своєрідного розподіленого комутатору на 2-му рівні моделі OSI та розподіленого маршрутизатора на 3-му рівні моделі OSI відповідно MPLS L2-VPN та MPLS L3-VPN, для обслуговування VPN.

VPN (*Virtual Private Network* – Віртуальна приватна мережа) – це логічна мережа, створена поверх інших мереж, на базі загальнодоступних або віртуальних каналів інших мереж (Інтернет). Тобто коли є наприклад кілька сегментів клієнтських Ethernet мереж, які знаходяться віддалено одна від одної (тисячі компаній і організацій мають віддалені офіси, та відокремлені підрозділи, котрі необхідно поєднувати як одну мережу).

Безпека передавання пакетів через загальнодоступні мережі може реалізуватися за допомогою шифрування, внаслідок чого створюється закритий для сторонніх канал обміну інформацією. VPN дозволяє об'єднати, наприклад, декілька географічно віддалених мереж організації в єдину мережу з використанням для зв'язку між ними непідконтрольних каналів.

Безпека в мережах MPLS-VPN базується на сполученні протоколу BGP та системи дозволу IP-адрес.

BGP (Border Gateway Protocol – протокол граничного шлюзу) – єдиний протокол міждоменої маршрутизації між автономними системами в глобальній мережі Інтернет [10.7 та 10.8] та його розширена версія MBGP (Multiprotocol BGP) використовується в MPLS мережах ІТ провайдерів. BGP протокол відповідає за інформацію про маршрути і визначає хто з ким має зв'язуватись.

Атаки на мережу MPLS-VPN можуть відбутись як зовні (тобто з клієнтської мережі або Інтернет) так і з середини (з магістралі власної MPLS-VPN). Зовнішні атаки не мають нести загрози, оскільки в нормативному документі RFC 2547 сказано, що пакети з мітками котрі надійшли з джерел, які не заслуговують довіри, не приймаються магістральними маршрутизаторами, а з точки зору провайдера клієнтські мережі і мережа Інтернет не може бути

достовірним джерелом. Натомість атаки з середини роблять MPLS-VPN вразливим [10.9].

Окрім протоколу зовнішньої маршрутизації (BGP) в мережі MPLS використовуються також протоколи внутрішньої маршрутизації (IS-IS – протокол внутрішніх шлюзів та OSPF (Open Shortest Path First) – протокол динамічної маршрутизації).

Протокол IS-IS стандартизований ISO 10589 та RFC 1195 в котрому описане розширення застосування протоколу для маршрутизації в TCP/IP.

Протокол OSPF стандартизований у RFC 2328 де описана остання (друга) версія протоколу.

Узагальнено робота MPLS здійснюється наступним чином:

1. Існуючі протоколи маршрутизації встановлюють доступність мережі.
2. LDP розподіляє мітки до мережі призначення.
3. Ingress LSR, на вході, отримує пакет, додає мітку до пакету.
4. Intermediate LSR здійснюють комутацію пакетів на підставі інформації закладеної в мітках і передають пакет по MPLS мережі.
5. Egress LSR, на виході, видаляє мітку і доставляє пакет до мережі (або користувача) призначення.

Отже маршрутизатори MPLS мережі здійснюють комутацію по інформації закладеній в мітках, без використання інформації закладеної в пакети на котрі навішена мітка. Таким чином MPLS не замінює IP маршрутизацію, а процює поверх неї. Роботу MPLS мережі, в загальних рисах, можна проілюструвати рисунком 10.17.

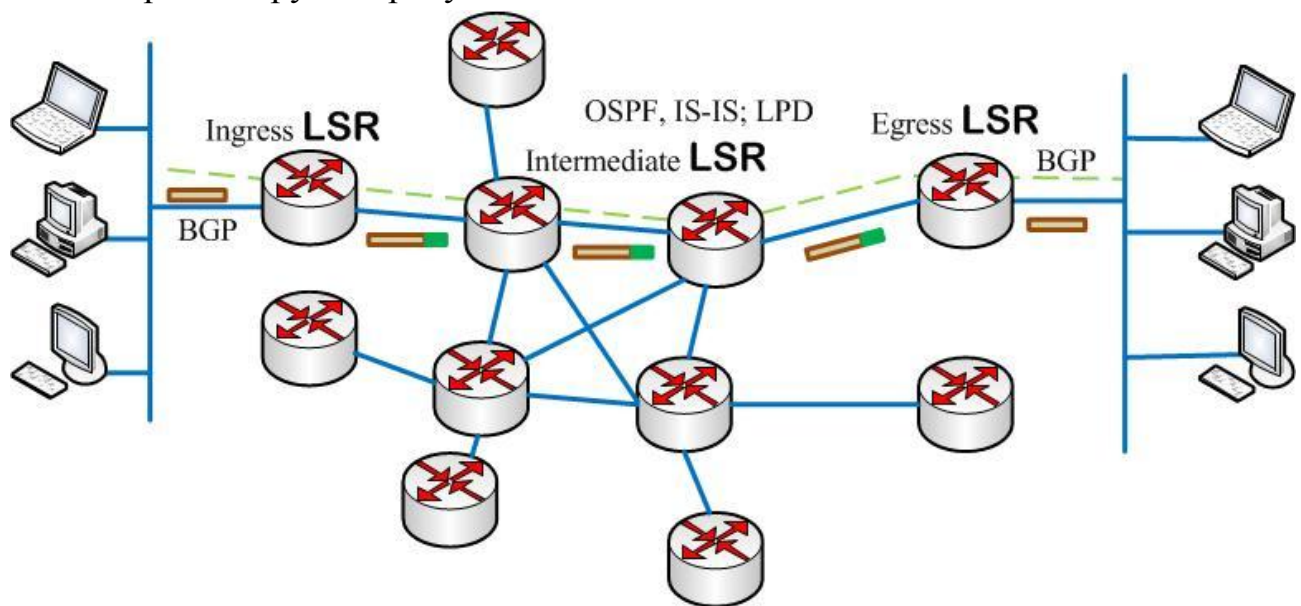


Рисунок 10.17 — Робота MPLS мережі.

Аналіз результатів моделювання ефективності маршрутизації між MPLS та IP маршрутизацією, дозволяє зробити висновок, що в середньому MPLS в 1,7

разів ефективніша, а для реальних Інтернет мереж з тисячами IP-мереж прогнозується ще більша ефективність.[10.10]

Перелік посилань до розділу 10

- 10.1 ITU-T Y.2001 General overview of NGN.
- 10.2 ITU-T G.694.2 Spectral grids for WDM applications: CWDM wavelength grid.
- 10.3 ITU-T G.694.1 Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid.
- 10.4 ITU-T G.987.1 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements.
- 10.5 ITU-T G.989.1 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements.
- 10.6 FRC 3031: Multiprotocol Label Switching Architecture. E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon. January 2001, 61p.
- 10.7 RFC 1930 Guidelines for creation, selection, and registration of an Autonomous System (AS).
- 10.8 RFC 1654 A Border Gateway Protocol 4 (BGP-4).
- 10.9 УДК 681.31 Г. Я. Криховецький. «Дослідження захищеності технології MPLS-VPN. Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defenñe 1(7)/2010.
 - 10.10 Исследование эффективности технологии MPLS с помощью раскрашенных сетей Петри Д.А. Зайцев, А.Л. Сакур Опубликовано: Зв'язок. – 2006, №5. – С. 49–55. 1 УДК 519.74, 681.51.

11 ЕЛЕМЕНТИ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ

В структурі оптичних мереж, як правило виділяють активну та пасивну складові. Такий розподіл складових телекомунікаційної мережі на пасивну і активну складову має наступну логіку: оскільки для пасивної частини не потрібне електроживлення, а отже і різні підходи до їх експлуатації, проектування, отримання дозвільної документації, тощо.

Під «активним телекомунікаційним обладнанням» розуміється телекомунікаційне обладнання для функціонування якого необхідне електроживлення та яке відповідає хоча б одному з нижченаведених критеріїв:

- обладнання забезпечує перетворення енергії джерел електроживлення в енергію сигналів;
- обладнання забезпечує кодування та/або комутацію;
- обладнання забезпечує передачу інформаційного сигналу на відстань;
- обладнання має інтелектуальну складову.

Прикладами активного телекомунікаційного обладнання може бути модем, маршрутизатор, комутатор тощо.

Відповідно активне і пасивне обладнання формує:

- *активну інфраструктуру телекомунікаційних мереж* – сукупність технічних засобів телекомунікаційних мереж які забезпечують перетворення сигналів;
- *пасивну інфраструктуру телекомунікаційних мереж* – сукупність технічних засобів, що забезпечують середовище для передавання сигналів та інженерних споруд призначених для розміщення технічних засобів телекомунікацій.

11.1 Транспондери.

Транспондер (прийомопередавач) (словосполучення transponder від слів transmitter + responder) – призначений для узгодження спектральних параметрів інтерфейсів ВОСП однієї технології систем передачі (наприклад мультиплексорів SDH, що описані в рекомендаціях ITU-T G.957, G.691, G.693) із спектральними параметрами ВОСП іншої технології систем передачі (наприклад WDM мультиплексорів, котрі відповідають рекомендаціям ITU-T G.692, G.695, G.959.1), окрім цього транспондер здійснює 3R регенерацію.

Деякі компанії випускають транспондери, що можуть визначати наявність помилок і виконувати попередню корекцію помилок (FEC – Forward Error Correction) в структурі даних (описаної в рекомендації ITU-T G.709) та здійснювати контроль експлуатаційних показників незалежно від типу сигналу, що передається (наприклад SDH або Ethernet). Завдяки цьому транспондер може

використовуватись у оптичних транспортних мережах. Застосування попередньої корекції помилок (FEC) призводить до невеликого збільшення швидкості передавання (на кілька процентів) та покращує якість отриманих даних за існуючої величини лінійного загасання (або за існуючого коефіцієнта помилок збільшує допустиму величину лінійного загасання).

Транспондер має кількість оптичних входів та виходів, що дорівнює числу оптичних сигналів, які потрібно ущільнити. При цьому, якщо ущільнюється n оптичних сигналів, то на виході транспондера довжина хвилі кожного каналу повинна відповідати лише одній довжині хвилі у відповідності з каналним планом (сіткою частот). Наприклад, припустимо для 1-го каналу оптичний сигнал повинен мати довжину хвилі λ_1 для другого λ_2 і т.д. до λ_n . З виходів транспондера ці оптичні сигнали поступають на строго визначені входи оптичного мультиплексора, що відповідають вказаним довжинам хвиль $\lambda_1 \dots \lambda_n$.

Транспондер є обов'язковим елементом WDM систем. Якщо з мультиплексорів SDH подаються на WDM мультиплексор сигнали зі спектральними параметрами, що відповідають рекомендаціям ITU-T G.692, G.695, G.959.1, то транспондер не потрібен. Параметри інтерфейсів транспондера та сітка частот описані у рекомендаціях ITU-T G.692, G.695, G.959.1 G.825, G.8251.

Основними характеристиками транспондера є:

- мінімальна чутливість приймача;
- мінімальний рівень перенавантаження приймача;
- максимальне вхідне фазове тремтіння;
- потужність випромінювання;
- форма імпульсу (“око–діаграма”);
- довжина хвилі випромінювання;
- ширина спектральної лінії;
- максимальне власне фазове тремтіння (тремтіння на виході за відсутності тремтіння на вході);
- характеристика передавання фазового тремтіння;
- максимальний штраф за оптичний шлях.

Причому, нормовані значення цих параметрів є різними та описуються у різних рекомендаціях для клієнтської частини транспондера, котра стикується, наприклад, з обладнанням SDH, та для лінійної частини транспондерів, котра стикується з обладнанням WDM.

Транспондер може мати перестроюваний передавач, таким чином його можна настроїти на потрібну довжину хвилі у відповідному робочому діапазоні. Транспондер може виконувати також функції регенератора, при

цьому, в залежності від апаратної реалізації транспондера, може бути потрібно один або два транспондера на канал.

Подальший розвиток технології призвів до появи багатоканальних транспондерів – мукспондерів.

Перевірка параметрів транспондерів

Мінімальна чутливість приймача

Метою цього випробування є визначення границь діапазону оптичної потужності, в якому можлива безпомилкова передача даних. Параметр використовується для розрахунку максимальної довжини регенераційної ділянки.

За допомогою змінного атенюатора регулюють показник загасання до тих пір, поки на прийманні коефіцієнт помилок не перевищить заданої величини (це, зазвичай, 10^{-12}). Схема вимірювань наведена на рисунку 11.1.

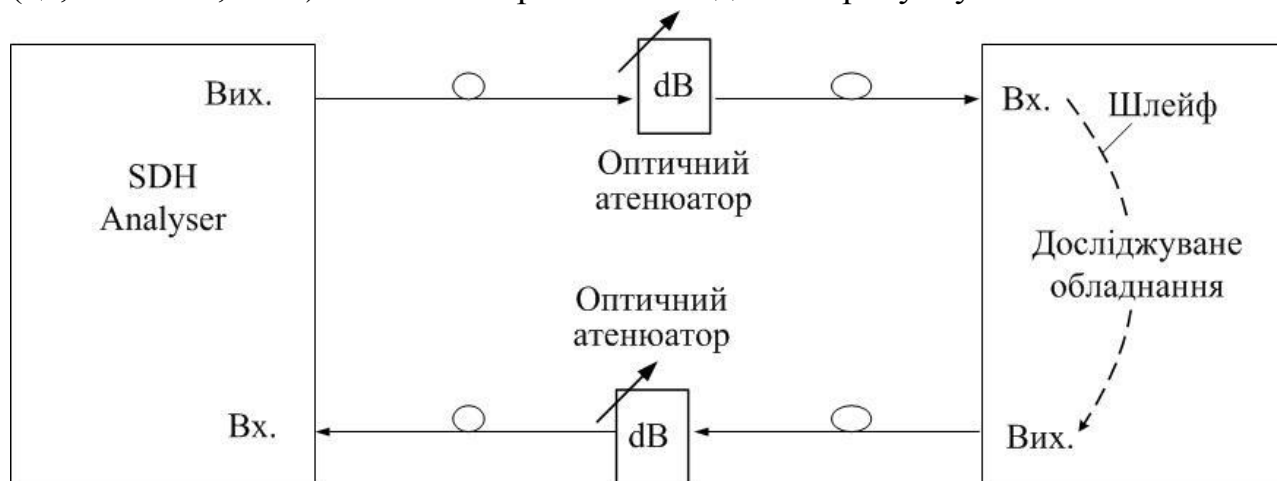


Рисунок 11.1 — Вимірювання чутливості приймача.

Мінімальний рівень перенавантаження приймача

Випробування проводять для визначення максимального рівня сигналу на вході приймача.

Параметр використовується для відображення здатності створення крос-з'єднання та для розрахунку мінімальної довжини регенераційної ділянки.

За допомогою оптичного атенюатора змінюють рівень сигналу на оптичному вході (для того, щоб уникнути пошкоджень приймача, вхідна потужність не повинна перевищувати рекомендованої величини, вказаної в технічній специфікації на конкретне обладнання).

Таким чином досягають максимального рівня оптичного сигналу, за якого система ще здатна до приймання, при допустимому коефіцієнті помилок.

Після встановлення за допомогою атенюатора рівня, при якому помилки увійшли в границі норми, необхідно очікувати впродовж 5 хвилин для

уточнення результату. За незмінності величини помилок, даний рівень буде вважатись достовірним значенням. Схема вимірювань наведена на рис. 11.2.

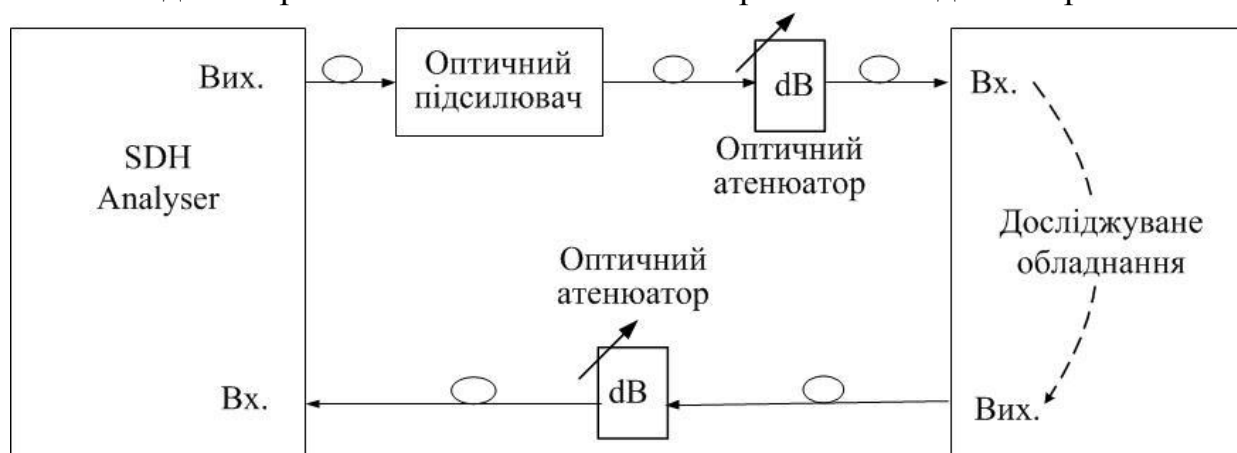


Рисунок 11.2 — Вимірювання перенавантаження приймача

Втрати відбиття

ORL (Optical Return Loss – оптичні зворотні втрати) – параметр вказує на величину завад, які виникають в лінії в зв'язку з виникненням інтерференції відбитих і спрямованих імпульсів, що призводить до погіршення відношення сигнал/шум.

Під'єднавши оптичний рефлектометр, вимірюють величину зворотнього відбиття в оптичному приймачі.

При вимірювання потрібно особливу увагу приділити чистоті різних з'єднувачів, що під'єднані до оптичного рефлектометра.

$$ORL = 10 \lg \frac{P_{СПР}}{P_{ВІД}} \text{ [дБ]}, \quad (11.1)$$

де:

$P_{СПР}$ – потужність спрямованого випромінювання;

$P_{ВІД}$ – потужність відбитого випромінювання.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.3.

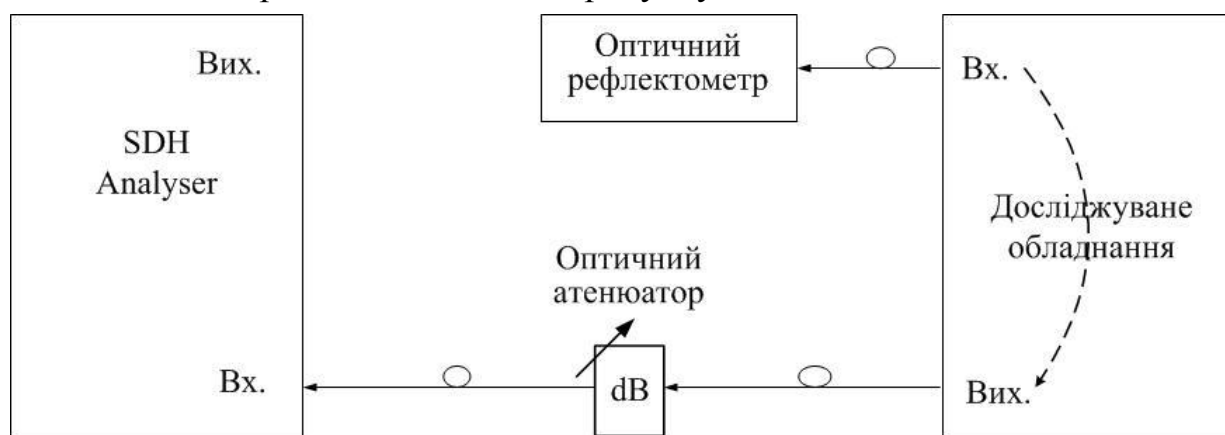


Рисунок 11.3 — Вимірювання втрат на відбиття

Довжина хвилі випромінювання та ширина спектральної лінії

Параметр визначає основні робочі умови системи передавання і впливає на дисперсійні та шумові характеристики лінійного тракту.

Оцінюється ширина спектральної лінії та відповідність довжини хвилі нормам.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.4.

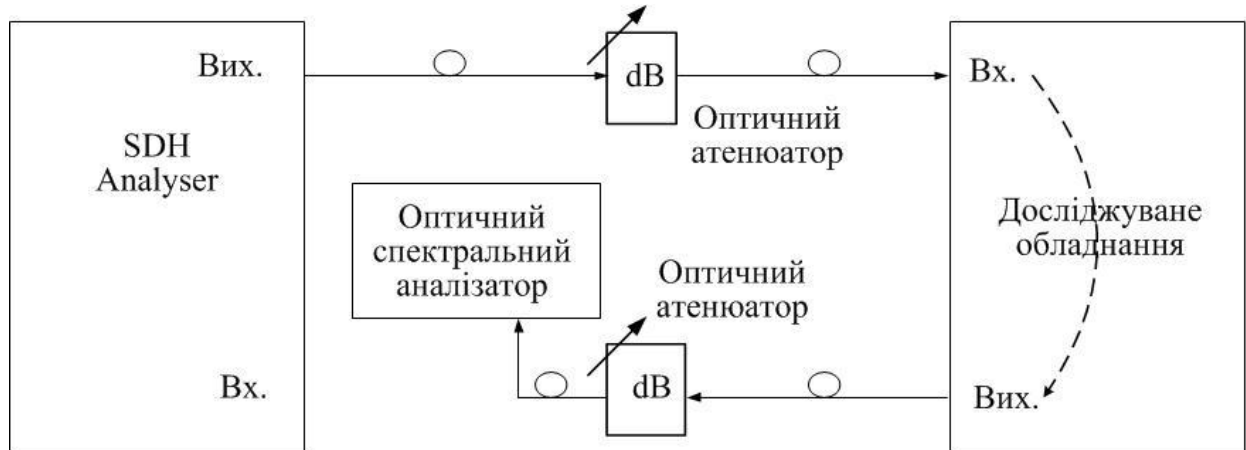


Рисунок 11.4 — Вимірювання ширини спектральної лінії

Середня потужність випромінювання

Параметр впливає на енергетичний потенціал системи, нелінійні параметри лінії зв'язку та довжину регенераційної ділянки.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.5

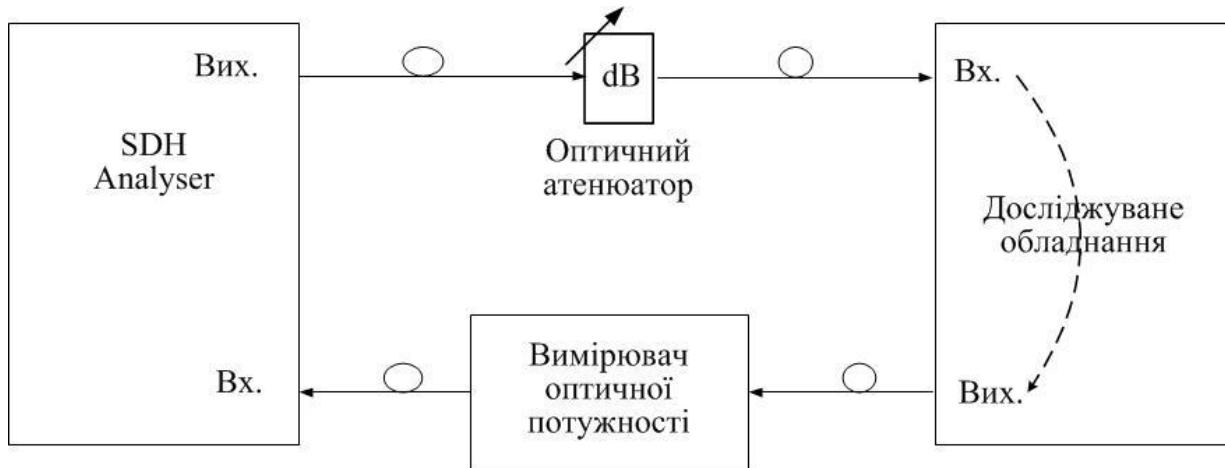


Рисунок 11.5 — Вимірювання середньої потужності випромінювання

Форма імпульсу (око-діаграма) та мінімальний коефіцієнт гасіння лазера

Перевіряють відповідність показників оптичного сигналу – встановленому для нього шаблону.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.6.

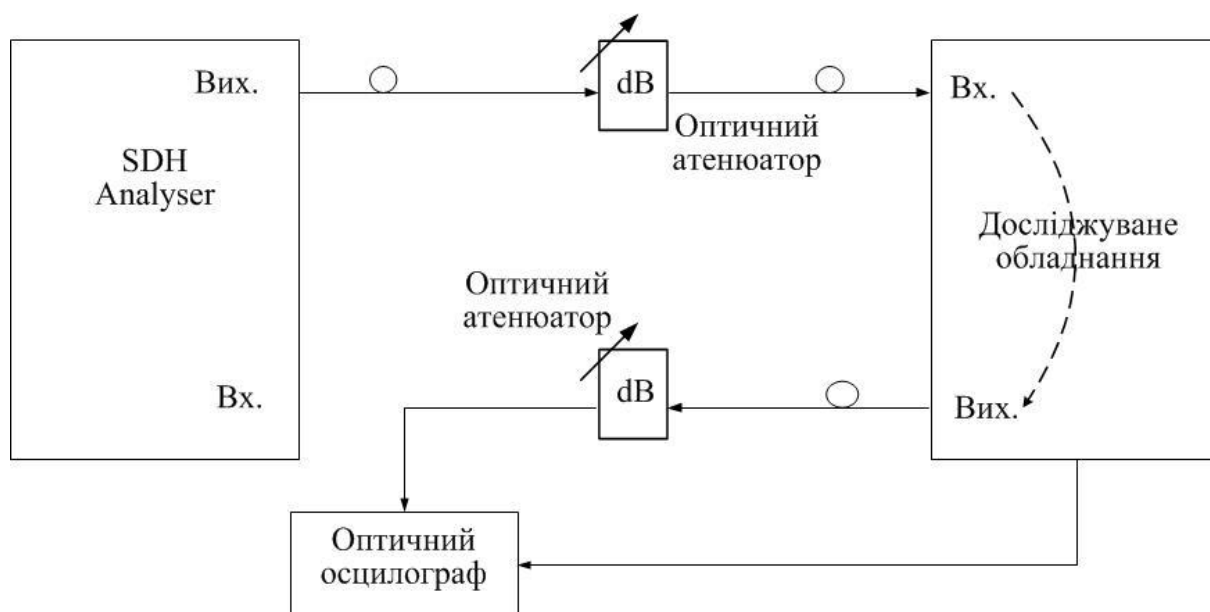


Рисунок 11.6 — Вимірювання око-діаграми

Коефіцієнт гасіння лазера визначається за результатами виміряної «око-діаграми» оптичного сигналу на виході стику. Коефіцієнт гасіння лазера розраховується за формулою

$$K_{\Gamma} = 10 \lg \frac{A}{B} \text{ [дБ]}, \quad (11.2)$$

де:

A – рівень середньої потужності оптичного сигналу при передаванні логічної “1”,

B – рівень середньої потужності оптичного сигналу при передаванні логічного “0”

11.2 Мультиплексори/демультиплексори.

Мультиплексування за довжинами хвиль – об’єднання декількох оптичних каналних сигналів, спектри яких не перекриваються, в один груповий оптичний сигнал, призначений для передавання по одному оптичному волокну.

Демультиплексування за довжинами хвиль – розділення групового оптичного сигналу на каналні оптичні сигнали.

Оптичний мультиплексор/демультиплексор – пристрій для поєднання (розділення) оптичних сигналів різної довжини хвиль.

Оптичний мультиплексор введення/виведення каналних сигналів – пристрій, який здійснює введення або виведення одного чи декількох оптичних каналних сигналів в оптичний груповий сигнал чи із оптичного групового сигналу, відповідно.

(Оптичний) каналний сигнал – сигнал, формований модуляцією сигналу несівної частоти оптичного каналу одним інформаційним сигналом.

Ннесівна частота оптичного каналу – частота, що відповідає максимуму енергетичного спектра оптичного випромінювання, яке використовують для формування каналного сигналу.

Мультиплексори/демультиплексори, як і мультиплексор введення/виведення – пасивні оптичні компоненти. Вони описані у рекомендації ITU-T G.671 (6.51; 6.52; 6.53 /ЕС 61931-1) у системах з WDM вони використовуються для передавання в лінію (прийому з лінії) групового сигналу з каналами на довжинах хвиль, котрі відповідають рекомендаціям ITU-T G.694.1, G.694.2.

Одним з основних елементів оптичних мереж є мультиплексом вводу/виводу (OADM – Optical Add-Drop Multiplexer), оптичні мультиплексори введення/виведення каналів використовують для додавання та/або виділення з групового оптичного сигналу певних каналів (на певних довжинах хвиль).

OADM складається з двох обов'язкових компонентів демультиплексора та мультиплексора (або оптичних пасивних елементів котрі можуть виконувати їх функції

OADM можуть ввести в тракт передачі певну довжину хвилі та передавати її далі без змін. Для тих довжин хвиль котрі проходять крізь OADM транзитом, без змін, вони мають виконувати оптичне підсилення сигналів OADM

Конструктивно OADM розрізняють на такі, що дозволяють вводити/виводити лише строго визначений набір довжин хвиль та такі в котрих довжину хвилі введених сигналів можна змінювати, такі конструктивні особливості залежать від того чи в структурі OADM застосовані фіксовані оптичні фільтри чи такі де можна виконувати налаштування довжини хвилі.

Приклади пасивних оптичного мультиплексора/демультиплексора та оптичного мультиплексора вводу/виводу показано на рисунку 11.7:



Рисунок 11.7 — Приклади оптичних мультиплексорів.

В системах WDM мультиплексор більшою мірою характеризує направленість (здатність спрямовувати потік в потрібному напрямку), а WDM демультимплексор – ізоляцію каналів (здатність виділення каналів з групового потоку без спотворення в них).

Основними характеристиками мультиплексорів/демультимплексорів WDM є:

- центральна довжина хвилі каналу;
- інтервал між каналами;
- смуга пропускання на рівні 1 та 3 дБ;
- перехідні завади;
- ізоляція каналів;
- направленість;
- варіація потужності в спектрі каналу;
- однорідність каналів;
- втрати, що залежать від поляризації PDL (Polarization Dependent Loss);
- поляризаційна дисперсія моди;
- внесені втрати;
- втрати на відбиття.

Для мультиплексування/демультимплексування використовуються тонкоплівкові фільтри, волоконні брегівські ґратки, дифракційні ґратки, пристрої інтегральної оптики (оптичний еквівалент інтегральних схем в електроніці), розгалужувачі. Оптичний мультиплексор/демультимплексор вносить значні втрати, що порушує баланс між енергетичним потенціалом системи зв'язку і сумарними втратами і, як наслідок, збільшується коефіцієнт помилок. Для компенсації втрат в лінії на виході WDM мультиплексора або на вході WDM демультимплексора, або і там і там (а також на проміжній станції) встановлюються оптичні підсилювачі.

Ефективність мультиплексора/демультимплексора визначається його здатністю ізолювати один від одного вхідні або вихідні канали.

Перевірка параметрів WDM мультиплексорів та демультимплексорів *Сітка частот*

Параметр визначає відповідність центральних довжин хвиль нормованим значенням. Параметр впливає на роботоспроможність обладнання.

Звіряють отримані дані з нормованими показниками.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.4.

Мінімальний рівень перенавантаження

Вимірювання здійснюються відповідно до [11.1]

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.8.

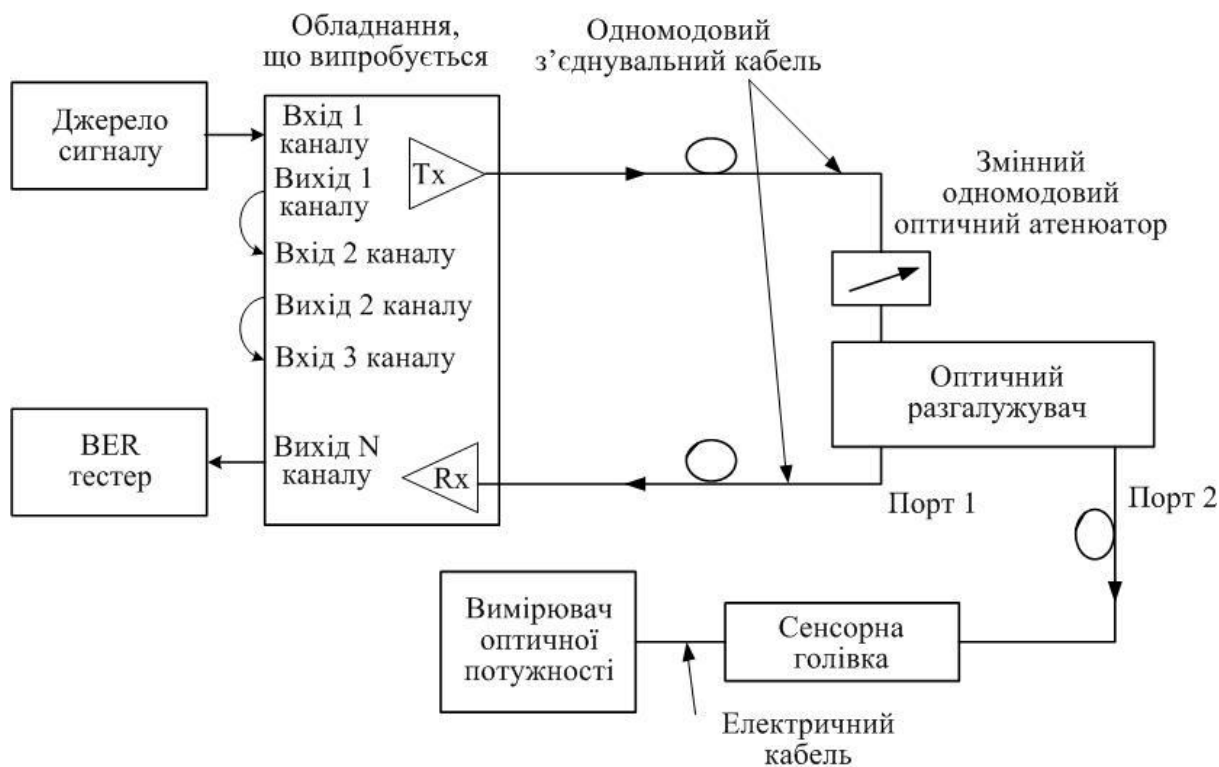


Рисунок 11.8 — Вимірювання рівня перенавантаження

Мінімальна чутливість приймача

Вимірювання здійснюються відповідно до [11.1]

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.9.

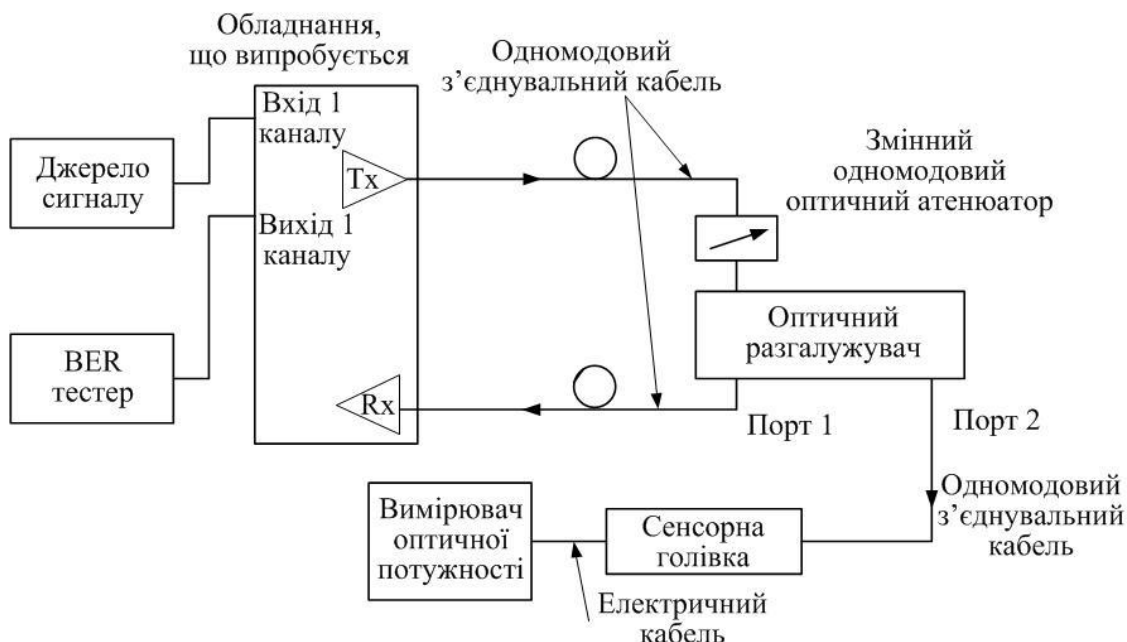


Рисунок 11.90 — Вимірювання рівня чутливості приймача

Смуга спектру сигналу на рівні 1 та 3 дБ

Звіряють отримані дані з нормованими показниками.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.10.

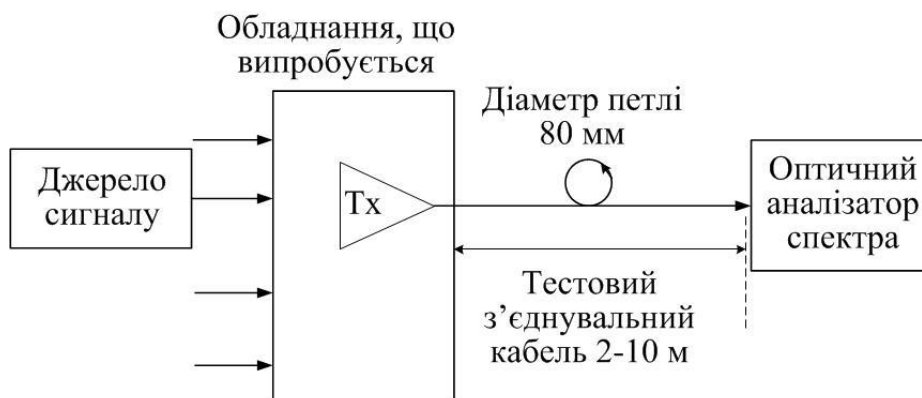


Рисунок 11.10 — Вимірювання ширини смуги спектру сигналу на рівні 1 та 3 дБ.

Максимальні втрати в каналі, внесені системою

Параметр визначає рівень втрат, що виникають внаслідок внесення обладнання в лінійний тракт. Параметр впливає на енергетичний запас системи.

Вимірювання здійснюються відповідно до [11.2], [11.3], [11.4].

Втрати, що вносяться, оцінюють за формулою:

$$IL = 10 \lg \frac{P_{\hat{a}\hat{a}}}{P_{\hat{a}\hat{e}\hat{a}}} \text{ [дБ]} \quad (11.3)$$

Схема вимірювань обирається згідно з [11.2] і наведена на рисунку 11.11. (можна також застосовувати метод з використанням електричного спектроаналізатора, як визначено у [11.3] рис.1 пункт 3, або оптичного спектроаналізатора, як визначено у [11.4] рис.1; пункт 3)

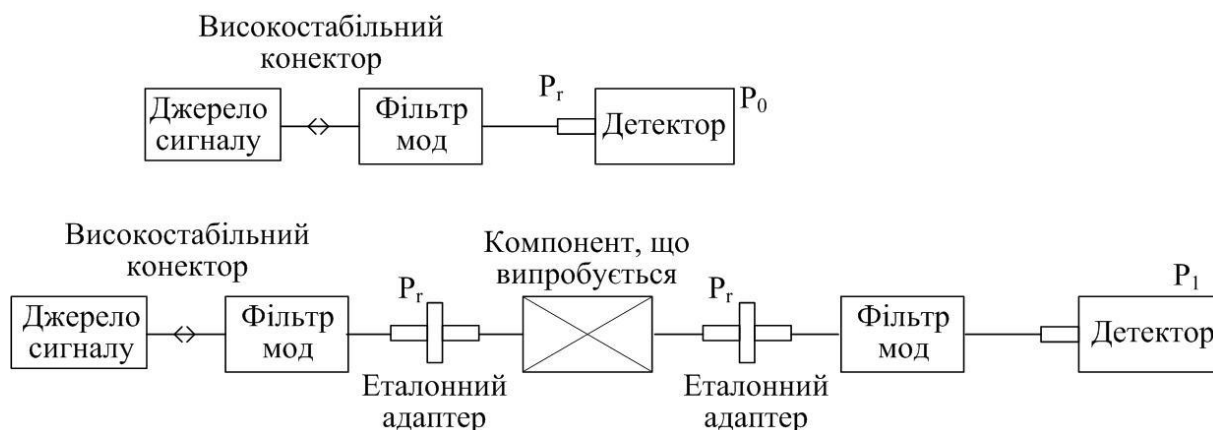


Рисунок 11.11 — Вимірювання мінімальних втрат в каналі, внесених системою.

Мінімальна ізоляція між сусідніми каналами

Параметр вказує на спроможність обладнання створювати канали з спектральним розділенням із заданими коефіцієнтами перехідних завад. Параметр впливає на якість передачі групового сигналу.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.10.

Середня вихідна потужність

Виміри проводяться відповідно до [11.5] (Схема застосовується лише для одномодових волокон)

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.12.

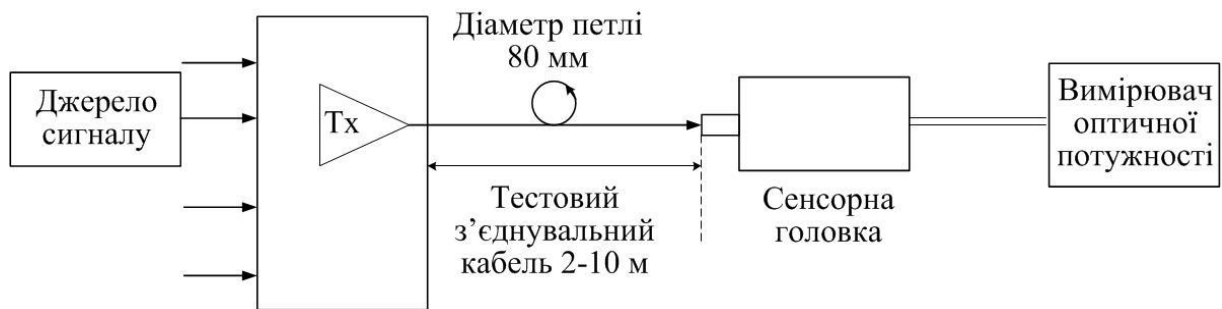


Рисунок 11.12 — Вимірювання середньої вихідної потужності.

Форма імпульсу (“око-діаграма”)

Виміри проводяться відповідно до [11.6]

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.13.

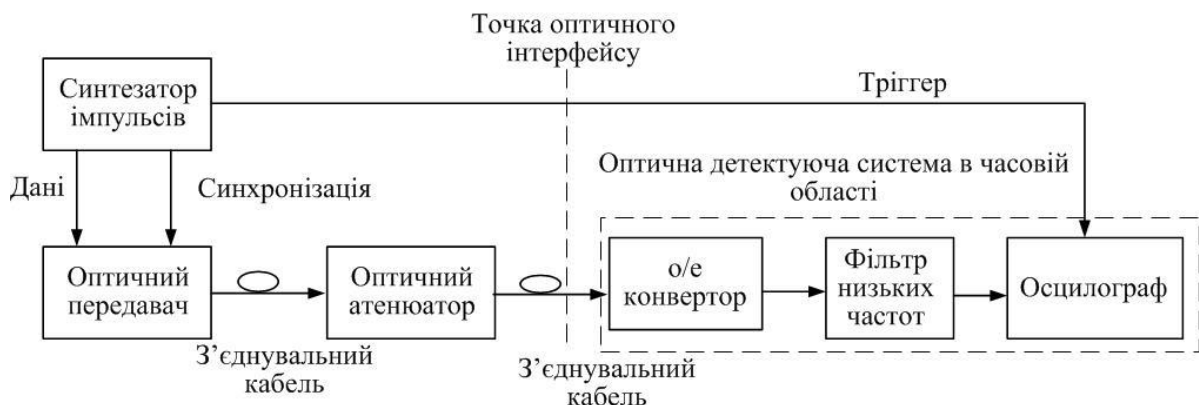


Рисунок 11.13 — Вимірювання форми імпульсу.

Q-фактор

Це відношення сигнал/шум (Electrical Signal-to-Noise Ratio (ESNR)) на вході електричної вирішувальної схеми приймача.

Q-фактор вимірюється в часовій царині шляхом аналізу статистичних даних імпульсної форми оптичного сигналу. Q-фактор являє собою всеосяжну міру якості сигналу в оптичному каналі враховуючи вплив шумів, фільтрацію, а також лінійні та нелінійні спотворення форми імпульсів, котру неможливо отримати лише на основі елементарних оптичних параметрів.

Додатковим фактором, що суттєво впливає на достовірність виміру Q-фактора в будь якій точці оптичного тракту, є залишкова дисперсія, котра присутня в даній точці.

Питання виміру Q-фактора визначено у [11.7]. Взаємозв'язок Q-фактора та параметра BER (рівня бітових помилок) описано у [11.8].

Згідно з [11.7] (дивись рисунок 11.14) Q-фактор визначається як:

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0}, \quad (11.4)$$

де:

μ_1 та μ_0 рівні напруги передачі “1” та “0”;

σ_1 та σ_0 є девіаціями розподілення шуму на рівнях “1” та “0”;

μ є положенням порогу вирішення.

Випадковий період фази.

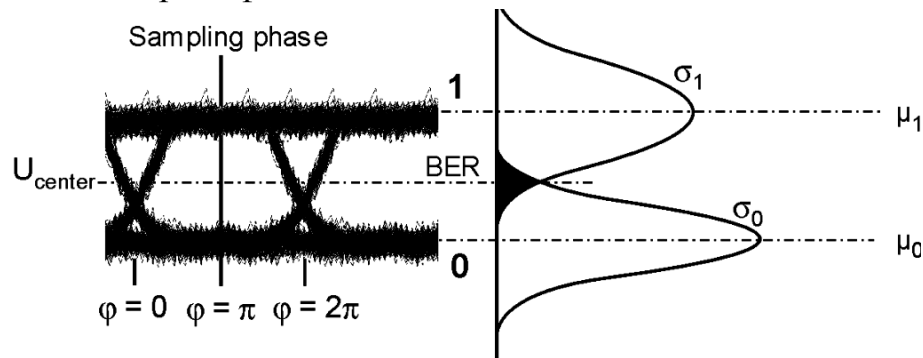


Рисунок 11.14 — Вимірювання форми імпульсу (відповідно до [11.8])

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.15.

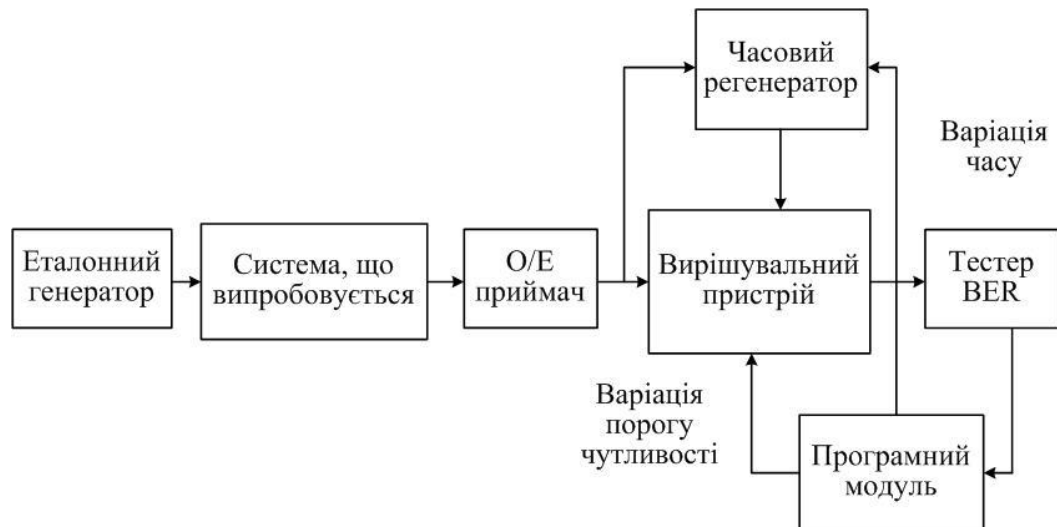


Рисунок 11.15 — Схема вимірювання форми імпульсу (відповідно до [11.7])

Добротність повинна бути вищою від добротності, котра відповідає рівню BER для інтерфейсу досліджуваної системи, наприклад для $BER=10^{-12}$ Q-фактор повинен бути $Q>7,03$, взємозв'язок Q-фактора з BER наближено можна визначити наступним чином: $BER \approx \frac{1}{Q\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{Q^2}{2}}$ (для систем без FEC).

Спектральна характеристика лінійного сигналу

Параметр відображає розділ каналів за довжинами хвиль та їх енергетичні і спектральні параметри.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.16.

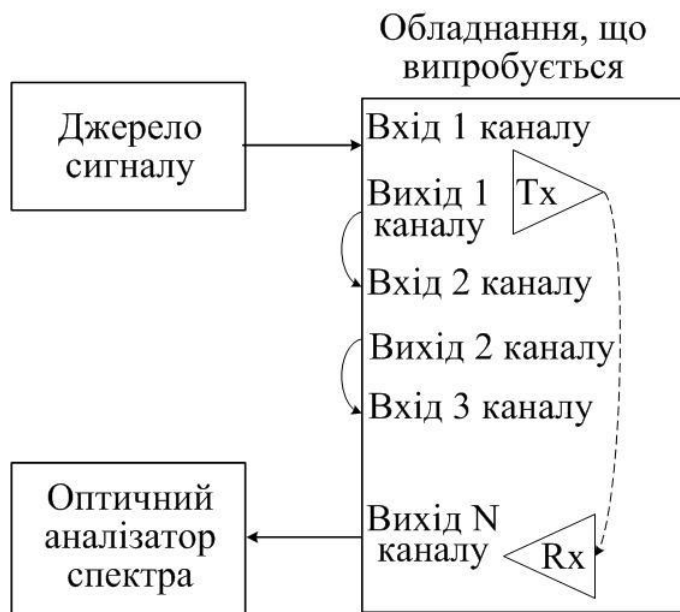


Рисунок 11.16 — Вимірювання спектральної характеристики лінійного сигналу.

Максимальний коефіцієнт відбиття

Схема вимірювань обирається згідно з [11.9] пункт 5.1; рисунки 1; 2; 3; 4 і наведена на рисунку 2.14. (можна також застосовувати метод з використанням замість ОСА (оптичного спектроаналізатору) оптичного детектора, та замість широкосмугового джерела – джерела зі змінною довжиною хвилі, див. згідно з [11.9] пункт 5.2 рисунки 5; 6; 7; 8.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.17.

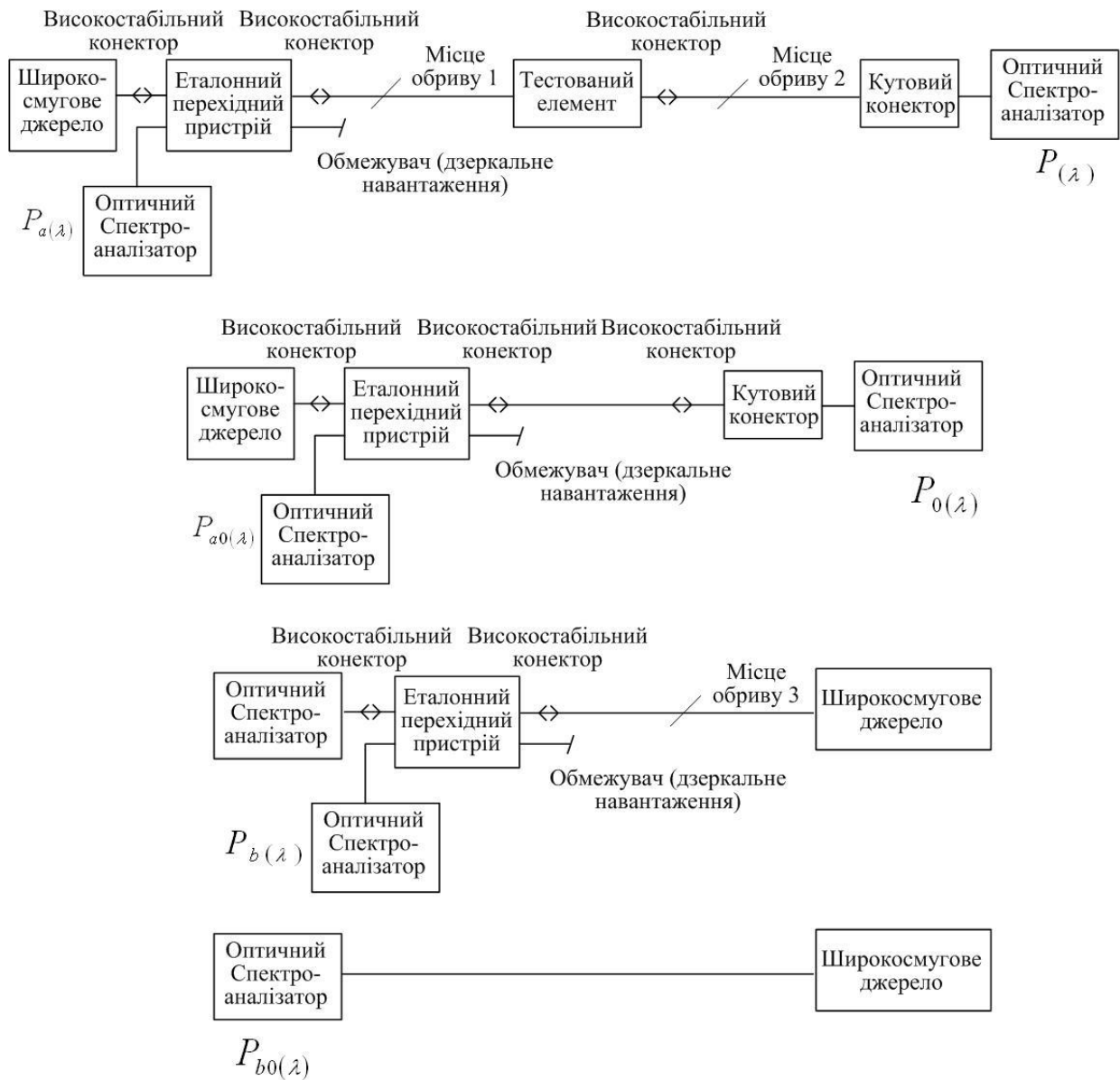


Рисунок 11.17 — Вимірювання максимального коефіцієнту відбиття

11.3 Оптичні передавачі.

Оптичний передавач (optical transmitter) є пристроєм для генерації потужності оптичного випромінювання. Оптичний передавач виконує е-о перетворення сигналу. Як правило ці функції виконує інфрачервоні світловипромінюючі діоди або лазери (оптичні квантові генератори *laser* аббревіатура початкових букв від **l**ight **a**mplification by **s**timulated **e**mission of **r**adiation «підсилення світлу за допомогою вимушеного випроміннення).

Найпоширенішими джерелами випроміннення для ВОСП на початку були напівпровідникові СВД (Світловипромінювальні діоди (LED – light-emitting diode)) та ЛД (Лазерні діоди ILD – injection laser diode).

СВД більш дешеві порівняно з ЛД але мають широкую смугу випромінювання 50 ÷ 70 нм, що погіршує дисперсійні характеристики і застосовуються для недорогих додатків на швиткостях до 100 Мбіт/с. В

сучасних високошвидкісних ВОСП для підвищення швидкості роботи та дальності передавання найчастіше використовуються напівпровідникові лазери. Сучасний напівпровідниковий лазер становить собою багат шарову напівпровідникову структуру з розмірами в кілька сотень мікрон. При цьому найбільш поширені лазери з резонатором Фарбі-Перо, з розподіленим зворотнім зв'язком (РЗЗ), а також з системами виведення випромінювання, подачі живлення та керування вихідною потужністю (модуляції).

Також застосовуються напівпровідникові лазери з вертикальним резонатором (резонатор розташовано перпендикулярно площині підложки) (Vertical Cavity Surface Emitting Lasers – VCSEL), лазери з розподіленими Брегівськими дзеркалами, котрі утворені двома світловідбиваючими дзеркалами, відбивачами з великим коефіцієнтом відбиття (аж до 100%), що вносить труднощі їх виробництва. Дзеркала розташовані над та під дуже маленькою областю підсилення (товщиною порядку 20 нм).

На сьогоднішній день VCSEL лазери, довжина хвилі котрих може перелаштовуватись, застосовуються в системах WDM, приклад структури VCSEL лазера наведено на рисунку 11.18.

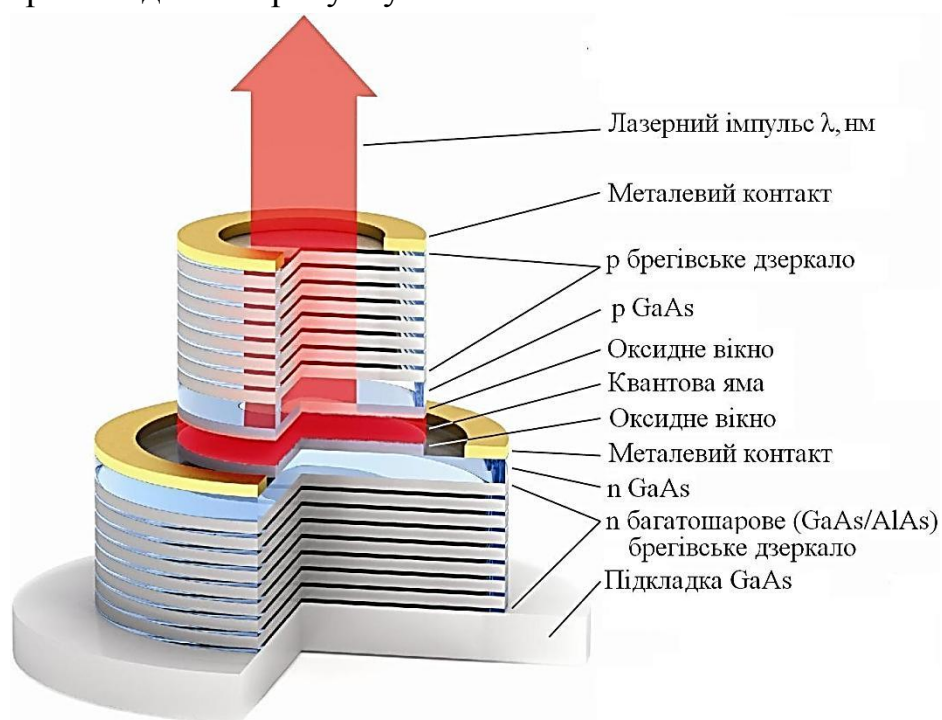


Рисунок 11.18 — Приклад структури VCSEL лазера

Оптичний передавач має забезпечувати:

- потужність, необхідну для компенсації втрат в оптичному кабелі, що забезпечує приймання сигналів із заданим рівнем коефіцієнта помилок;
- певну робочу довжину хвилі λ_p ;
- певну ширину спектру випромінювання потужності;
- належне подавлення бічних мод;

- низьку залежність потужності що випромінюється та довжини хвилі від температури та електричного режиму;
- високу направленість випромінювання (для чого використовують лазери з дифракційними ґратками);
- можливість перестроювання лазера на різні довжини хвиль;
- високу швидкодію;
- певний строк служби.

Забезпечення перелічених властивостей передавача в значній мірі визначають його високу вартість.

Параметри передавачів визначені у рекомендаціях ITU-T G.957, G.691, G.693, G.959.1. Довжини хвиль передавача WDM повинні відповідати рекомендаціям ITU-T G.694.1, G.694.2. Класифікація лазерів, щодо лазерної безпеки, описана у стандарті ДСТУ ІЕС 60825-1. Час до автоматичного відключення лазера наведений у таблиці III.1/G.664 рекомендації ITU-T G.664.

11.4 Оптичні приймачі.

Фотоприймач (фотодетектор-фотодіод) є пристроєм, котрий перетворює вхідні оптичні сигнали у електричні (о-е перетворення) та здійснює, (у такий спосіб) їхню демодуляцію.

Приклади фотодіодів показані на рисунку 11.19.

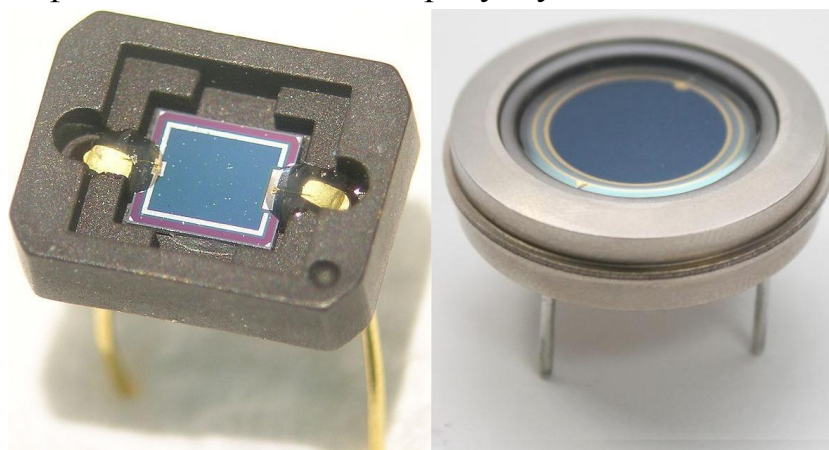


Рисунок 11.19 — Приклади фотодіодів

Фотоприймач повинен бути повністю сумісним з передавачем як за спектральною смугою чутливості у межах номінальних довжин хвиль, так і за часовими характеристиками модуляції випромінювання. Окрім того, фотоприймач повинен мати стійкість до помилок, котрі можуть виникнути в сигналі при проходженні ним інших оптичних компонентів. Параметри фотоприймачів визначені у рекомендаціях ITU-T G.957, G.691, G.693, G.959.1. Такими основними параметрами є:

- чутливість (мінімальний рівень вхідної оптичної потужності сигналу, за якої забезпечується заданий коефіцієнт помилок);

-
- рівень власних шумів;
 - рівень перенавантаження (максимальний рівень вхідної оптичної потужності сигналу, за якої забезпечується заданий коефіцієнт помилок);
 - смуга пропускання (швидкодія);
 - коефіцієнт підсилення (для лавинних фотодіодів – ЛФД від avalanche photodiode – APD);
 - темновий струм.

11.5 Оптичні атенюатори.

Атенюатор (attenuer) – послаблювач, оптичний атенюатор пристрій для зменшення інтенсивності оптичного сигналу.

Атенюатори як правило випускаються у вигляді шнура, де додаткове послаблення сигналу відбувається в спеціальному волокні, або у вигляді оптичної розетки, де послаблення сигналу досягається повітряним зазором і можуть бути регульовані, де величина повітряної щілини може регулюватись відповідно змінюючи величину загасання сигналу.

Атенюатори, що можуть встановлюватись після оптичного передавача, дозволяють зменшувати вихідну потужність до рівня, котрий відповідає можливостям розташованих після них мультиплексорів та підсилювачів. Атенюатори встановлюють також для того, щоб більша потужність сигналу не призводила до нелінійних явищ у оптичному волокні. Атенюатори можуть бути змінними з можливістю регулювання загасання потужності (за довжинами хвиль). Це часто потрібно для того, щоб "вирівняти" (за рівнем потужності) спектр сигналу на вході в оптичний підсилювач. Основні параметри наведені нижче і описані у рекомендації ITU-T G.671 (1.3.1/IEC60869-1):

- внесені втрати;
- втрати на відбиття;
- втрати, що залежать від поляризації;
- поляризаційна дисперсія моди.

11.6 Оптичні комутатори.

Варто розрізняти оптичні комутатори та повністю оптичні комутатори.

Звичайні оптичні комутатори в ВОСП це просто мережні комутатори з одним або кількома оптичними портами, котрі виконують функції керування потоками даних та виконують перетворення (o-e-o) середовища передачі сигналу і можуть бути як керовані так і не керовані.

На відміну від цього *повністю оптичний комутатор*, згідно рекомендації ITU-T G.671 (1.3.1/IEC 60876-1), – пасивний оптичний компонент з двома або

більше портами, котрий вибірково передає, переадресовує або блокує оптичний сигнал при передачі по оптичному волокну.

Комутатори (окрім їх прямої функції оптичної комутації) застосовують для того, щоб в якості переключачеля, за виникнення пошкоджень в мережі, направити сигнал по іншому оптичному шляху або через іншу мережу. Для перенаправлення кількох каналів можуть застосовуватись прості оптичні перемикачі. Для складних мережних архітектур (кільцевої, коміркової) з великою кількістю вузлів та точок доступу, де необхідна гнучка швидка комутація великої кількості каналів, використовують технологію оптичної крос-комутації (на основі комутації волокон чи довжин хвиль). Наприклад, використовується ґратки, масиви хвилеводів, рідкі кристали. Основні параметри описані у рекомендації ITU-T G.671:

- внесені втрати;
- втрати на з'єднаннях;
- втрати на відбиття;
- втрати, що залежать від поляризації;
- перехресні завади;
- тривалість переключення.

Тривалість переключення на резерв згідно рекомендацій ITU-T (п.11.4.1) G.783 та (п.7.1) G.841 не повинна перевищувати 50 мс.

Оптичні комутатори стали тим елементом ВОСП, котрий дозволив відійти від побудови мережі за структурою “точка-точка” і перейти до більш складних структур та зробив оптичні мережі більш керованими, гнучкими і ефективними щодо вирішення потреб користувачів.

Оптичну комутацію можна поділити на два типи:

- комутація потоків (крос-комутація) – коли за допомогою оптичного комутатора є можливість перенаправити (переключити) оптичні тракти між оптичними волокнами.
- λ -комутація – коли за допомогою оптичного комутатора створюються умови (за допомогою дисперсійних елементів) для комутації довжин хвиль між оптичними трактами та оптичними волокнами.

На сьогодні оптичні комутатори існують двох типів: О/Е/О (оптика/електрика/оптика) та фотонних О/О/О (оптика/оптика/оптика) (тобто повністю оптичних), кожний з яких має свою сферу застосування.

Комутатори О/Е/О типу є “інтелектуальними” порівняно з фотонними О/О/О комутаторами. Повністю оптичні фотонні комутатори О/О/О типу дають змогу перейти до повністю оптичних мереж.

Повністю оптичні комутатори О/О/О типу здійснюють комутацію без перетворення оптичного сигналу в електричний. Прикладом такого типу

комутаторів може бути комутатор із 2_D (планарної побудови) та 3_D MEMS (трьохмірною електромеханічною системою).

Така система використовує механізми нахилу та керування MEMS (MicroElectroMechanicalSystem) дзеркальною матрицею у трьохмірному просторі для комутації потоків, як показано на рисунку 11.20:

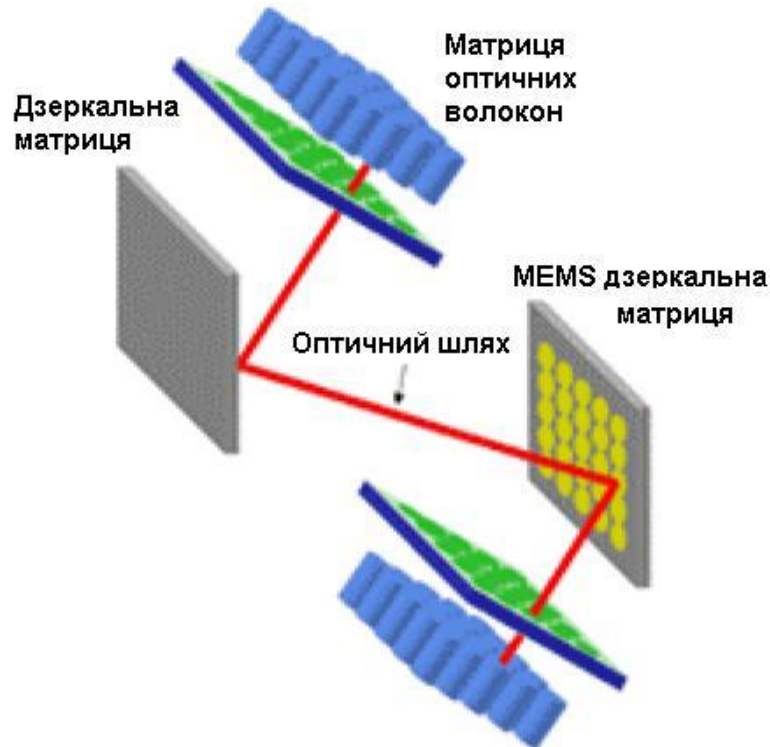


Рисунок 11.20 — Комутація потоків у трьохмірному просторі за допомогою MEMS.

Однак пристрої побудовані на основі МікроЕлектноМеханічнихСистем, мають значні недоліки котрі роблять їх, в дійсний час, ненадтопривабливими для використання в сучасних мережах з ВОСП. Такими недоліками в першу чергу є низька швидкість реакції на переключення сигналу (мілі та мікросекунди), що значно поступається електрооптичним комутаторам, акустооптичним або на основі рідких кристалів (в котрих аналогічний показник варіюється від мікросекунд до наносекунд) та низькою надійністю пристроїв на їх основі. Приклади оптичних комутаторів на технології MEMS можна переглянути на сайтах компаній виробників, наприклад [DiCon Fiberoptics Inc.](http://www.di-con.com)

У 2012 дослідники (Рітеш Агарвал, Брайн Піцціоне) з університету Пенсільванії опублікували в журналі Nature Nanotechnology результати роботи по створенню повністю оптичного фотонного переключача з нанопроводів, виготовлених з сульфїну кадмія, та поєднали такі переключачелі в пристрій здатний виконувати елементарні логічні операції, що може стати передумовою для створення оптичних комп'ютерних чипів.

Приклад логічного елемента «І – Ні» побудованого за їхньою технологією на основі нанопроводів наведено на рисунку 11.21.

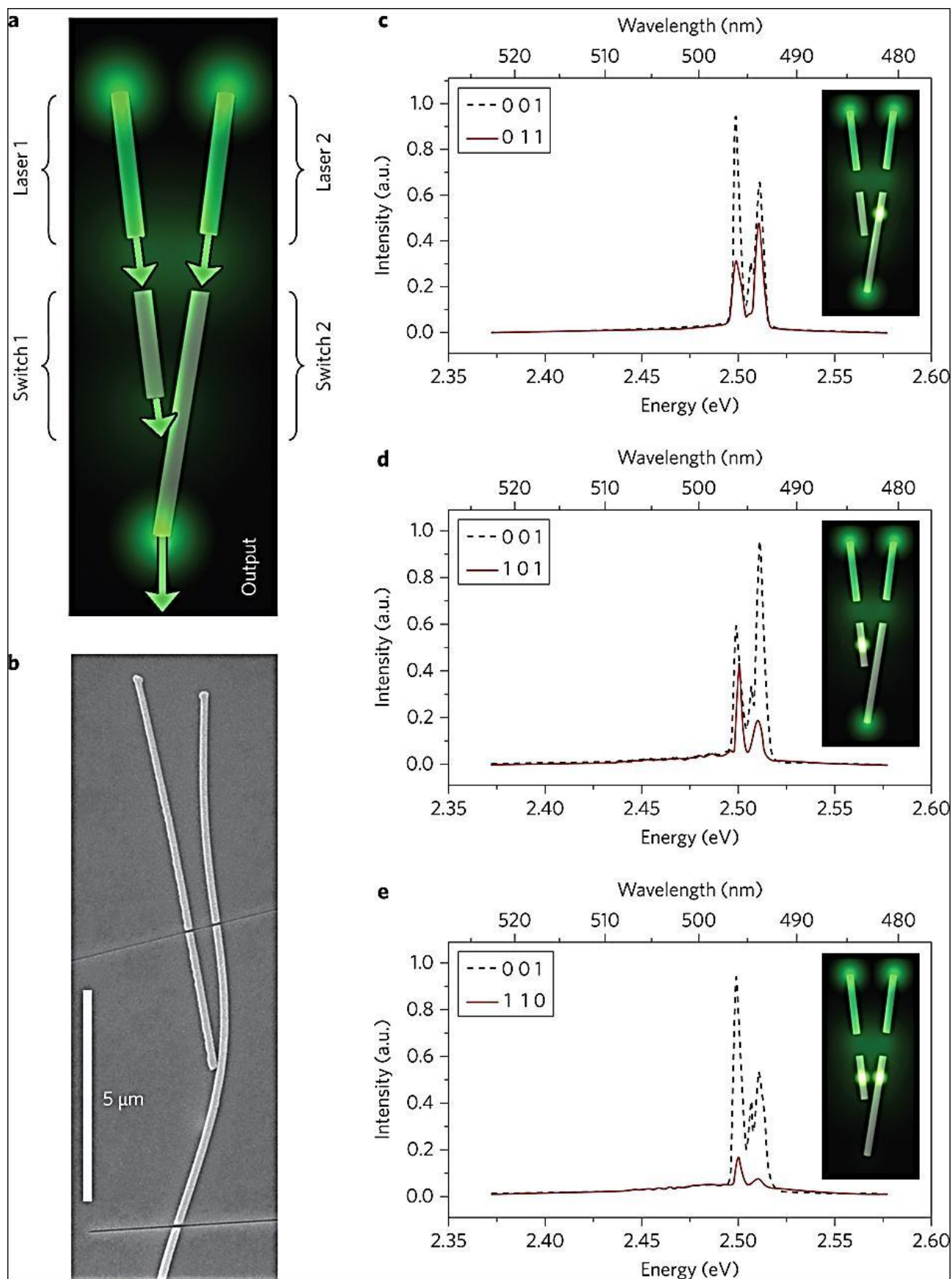


Рисунок 11.21 — Приклад логічного елементу «I – Ni» з нанопроводів, виготовлених з сульфїну кадмїя.

У 2013 році співробітники інституту ICFO (Institute of Photonic Sciences) опублікували в журналі Nature Physics результати своєї роботи де показали, що

мікроскопічний кристал алмазу (наноалмаз), що має одиночний точковий дефект (азотно-заміщену вакансію) діє як штучний атом, при цьому сигнал лазера в одному діапазоні виконував включення (збудження пристрою), а в іншому діапазоні виключення.

Бульбашкові оптичні комутатори працюють на технології суть котрої полягає в тому що використовуються два набори кремнієвих підкладок з повздовжніми смугами. При цьому нижня підкладка має шар котрий складений з витравлених в кремнії повздовжніх мікроскопічних канавок, котрі перетинаються між собою. Ці канавки заповнені спеціальною рідиною, котра має той самий показник заломлення, що і кремній. Вони грають роль хвилеводів по котрим розповсюджується світловий потік. На верхній підкладці розташовуються електроди і струм, що тече по ним викликає нагрів рідини і створення бульбашок газу в місцях перетину канавок.

Без бульбашки світловий потік безперешкодно проходить прямо, але при появі бульбашки він відбивається від неї і змінює свій напрямок.

В бульбашкових оптичних комутаторах на відміну від комутаторів на MEMS відсутні рухомі частини, що збільшує надійність пристроїв, однак вони мають значні втрати потужності сигналу в тракті та як і MEMS комутатори мають низьку швидкість.

В комутаторах на основі рідких кристалів електрична напруга котра прикладена до рідкого кристалу, змушує молекули міняти свою орієнтацію в наслідок чого змінюється показник заломлення.

У сучасних комутаторах на рідких кристалах використовується явище поляризації, при котрому до половини інтенсивності світлового потоку втрачається при переключенні з порту на порт, якщо світло котре входить в такий комутатор не було попередньо поляризоване.

Вхідний світловий потік потрапляє на лінзу, котра розділяє потік на два пучки з протилежною поляризацією. Обидва пучки відбиваються від шарів рідкого кристалу і збираються на іншій лінзі де рекомбінують (поєднуються). Зміна напруги на рідких кристалах змінює поляризацію оптичних потоків спрямовуючи їх на потрібний оптичний порт.

Однак швидкість переключення в сучасних комутаторах на рідких кристалах становить від 1 до 10 мс, що не прийнятно для сучасних оптичних мереж.

Загальна порівняльна характеристика повністю оптичних комутаторів зроблені за різними технологіями, наведена в таблиці 11.1.

Таблиця 11.1 — Загальна порівняльна характеристика повністю оптичних комутаторів зроблені за різними технологіями.

Параметр	Середовище комутації			
	Вільний простір		Хвильоводне	
Технологія виконання	MEMS	Рідкі кристали	Термооптичні бульбашки	Термооптичні/електрооптичні хвильоводи
Здатність до збільшення ємності комутаційної матриці	Добра	Погана	Погана	Погана
Втрати	Малі	Не досліджено	Великі	Не досліджено
Тривалість комутації	Мала	Не досліджено	Не досліджено	Мала
Перехідні завади	Малі	Не досліджено	Не досліджено	Не досліджено
Ефекти поляризації	Малі	Малі (досліджується)	Малі (досліджується)	Великі
Незалежність від довжини хвилі	Добра	Добра	Добра	Погана
Незалежність від швидкості передачі	Добра	Добра	Добра	Добра
Споживання енергії	Добра	Добра	Погана	Погана

Електрооптичні комутатори, на відміну від повністю оптичних комутаторів, окрім комутації потоків (крос-комутації), можуть виконувати:

- функцію 3R регенерації.
- комутацію за довжинами хвиль — λ - комутація (за допомогою дисперсійних елементів).
- комутацію за кодовою комбінацією (на основі таких мережних концепцій як GMPLS (базується на відомій в технології АТМ та ІР класичній концепції MPLS) — мітки вводяться для різноманітних оптичних компонентів: оптичних волокон; довжин хвиль (λ - комутація) та групи довжин хвиль; оптичних вузлів комутації.

Архітектура оптичного вузла комутації такого типу комутаторів.

Оптичний вузол комутації, як зображено на рис. 11.22, складається з наступних вузлів:

Вхідні/вихідні лінійні блоки, до складу яких входять підсилювальні та корегуючі пристрої і оптичні мультиплексори/демультиплексори. Ці блоки відповідають за відновлення сигналів на прийомі з лінії та формування сигналів для передачі в лінію.

Оптичні комутатори, що виконують функції проключення транзитних каналів, під'єднання допоміжних пристроїв та блока керування вузла комутації.

Оптичний буфер, що становить собою лінію затримки або оптичний блок пам'яті. Він виконує допоміжні функції узгодження часу необхідного для

проходження сигналу через вузол, з тривалістю встановлення комутаційного проклучення.

Хвильові конвертери, які є активними пристроями з оптико-електронно-оптичним перетворенням сигналу та виконують допоміжну функцію зміни довжини хвилі сигналу при виконанні λ -комутації.

Блок керування призначений для аналізу інформації щодо адреси вхідних інформаційних пакетів, за якою виконується переключення вхідного інформаційного пакету до вихідного порту з визначеними напрямком передачі та довжиною хвилі несівної. Крім того, він виконує допоміжні сервісні функції по спостереженню за параметрами передачі та комутації і конфігурації вузла та інше.

В найскладнішому випадку створення тракту передачі сигналу, що проходить через оптичний вузол комутації, виглядає наступним чином. Сигнал прийшовши на вхідний порт, відновлюється за рівнем та формою і подається на демультиплексор, котрий виділяє окремі потоки інформації, що автоматично під'єднуються до оптичних буферів, для затримки на час, необхідний для створення трактів проходження, і на блок керування, який виділяє адресну інформацію (що визначає довжину хвилі та напрямок наступної ділянки) та керує створенням тракту для передачі окремих потоків через вузол. За необхідності змінити довжину хвилі до тракту під'єднується відповідний конвертер довжин хвиль, який виконує цю процедуру. На вихідному порту окремі потоки відновлюються по рівню потужності, об'єднуються в груповий сигнал на відповідний напрямок та передаються в лінію.



Рисунок 11.22 — Оптичний вузол комутації.

Елементами електрооптичної комутації можуть бути комірки Поккельса.

Робота комірки Поккельса базується на використанні ефекту Поккельса, суть якого полягає в зміні показника заломлення матеріалу пропорційно до

напруженості електричного поля в комірці Поккельса. І як наслідок, змінюється стан поляризації (на ортогональний), що призводить до комутації сигналу.

Порівняльні функціональні властивості різних класів оптичних комутаторів зведені в таблицю 11.2.

Таблиця 11.2 — Порівняльні функціональні властивості різних класів оптичних комутаторів.

Функції	Класи комутаторів		
	Повністю прозора оптична комутація	Електрична комутація	Електрооптична комутація
Можливість управління властивостями	складна	легка	легка
Можливість перевірки з'єднань	складна	легка	легка
Можливість вилучення ділянок зі збоями	складна	легка	легка
Можливість автоматичного визначення (відновлення) топології	складна	легка	легка
Можливість поступового нарощування ємності та лінійної швидкості	існує	не існує	існує
Можливість одночасного доступу до кількох вихідних портів	не існує	існує	існує
Можливість працювати з різними швидкостями вхідних потоків	не існує	існує	існує
Можливість автоматичного відновлення?	не існує	існує	існує
Внутрішньосмугова сигналізація	не існує	існує	існує

11.7 Оптичні та хвильові розгалужувачі.

Оптичний розгалужувач – пасивний елемент мережі, котрий має три і більше оптичних портів та розподіляє енергію оптичного сигналу на свої порти відповідно до завчасно встановлених правил без виконання активних змін сигналу (підсилення, регенерація, тощо).

Оптичні розгалужувачі в ВОСП призначені для об'єднання/роз'єднання оптичного випромінення відповідно в одне ОВ/поділу в два ОВ. Хвильові розгалужувачі (пасивні селективні мультиплексори) у системах WDM використовують, коли потрібно розділити окремі інформаційні канали за заданою довжиною хвилі, або виконати оптичну комутацію.

Часто оптичні розгалужувачі використовують при вимірюванні на ВОСП, коли є потреба у відводі частини оптичного потоку на вимірювальний пристрій або для моніторингу ВОСП. Також оптичні розгалужувачі використовують в якості оптичних переключачів, що дає змогу використовувати при

переключенні оптичних потоків у випадку пошкодження одного з оптичних кабелів.

Для виробництва оптичних розгалужувачів використовують різноманітні технології (сферичні дзеркала, інтерференційні фільтри, градієнтні лінзи, тощо) але найбільше розповсюдження здобула технологія сплавлення оптичних волокон. Такі оптичні розгалужувачі мають стабільні експлуатаційні параметри і широко застосовуються на ВОСП.

Для WDM систем використовують три основних типи хвильових розгалужувачів дифракційна решітка, призма та діхроїчний фільтр.

Дифракційна решітка та призма виділяють з оптичного потоку потрібну довжину хвилі шляхом відбиття під різними кутами різних довжин хвиль, а діхроїчний фільтр пропускає лише світло певної довжини хвилі відбиваючи решту.

Значне розповсюдження оптичні розгалужувачі отримали в на мережах FTTH з технологією xPON де застосовують сплітери котрі розроблені на основі поєднання оптичних розгалужувачів.

Приклад оптичного сплітера показано на рисунку 11.23:



Рисунок 11.23 — оптичний розгалужувач (сплітер).

Найпоширенішими типами оптичних розгалужувачів є симетричні «Х» розгалужувачі (найпростіший варіант 2x2) та несиметричні «Y» розгалужувачі (найпростіший варіант 1x2).

Також оптичні розгалужувачі поділяють на:

- направлені (в котрих коефіцієнт передачі між оптичними портами залежить від напрямку), коли потрібно в якійсь порт передати більш потужний оптичний сигнал (що важливо для xPON FTTH з топологією

«шина», коли окремі абоненти, що під'єднані на одне волокно є більш віддаленими від решти);

- ненаправлені (в котрих енергія вихідного потоку поділена порівню між оптичними портами);
- спектральноселективні (чутливі до довжини хвилі випромінення);
- не селективні (не залежні від довжини хвилі випромінення).

Оптичні розгалужувачі є пасивними оптичними компонентами. Основні параметри, описані у рекомендації ITU-T G.671. Важливими їхніми параметрами є:

- високе значення перехідного загасання;
- внесені втрати;
- направленість (для направлених розгалужувачів).

11.8 Пристрої компенсації дисперсії.

Пристрої компенсації дисперсії (ПКД) надають сигналу дисперсію, рівну за величиною та протилежну за знаком до дисперсії, набутій ним в оптичному волокні, що відновлює первинну форму імпульсів. У модуля компенсації дисперсії є недолік, котрий полягає у великих значеннях вносимих втрат.

Компенсатори дисперсії є необов'язковими елементами ВОСП. Наприклад, можна використовувати послідовно з'єднані пари лінійних волокон з взаємно-оберненою дисперсією (так звані волокна компенсуючі дисперсію DCF (dispersion compensating fiber)).

Для компенсації дисперсії можуть застосовуватись хвилеводні брегівські ґратки FBG (fiber Bragg grating) котрі є відрізками нерегулярного волокна, в котрому зміною показника заломлення вздовж вісі волокна сформована аперіодична брегівська ґратка. Хвилеводні брегівські ґратки широко застосовуються на ВОСП особливо в системах WDM (в таких пристроях як OADM, мультиплексорах, демультіплексорах, хвилеводних конвертерах, вузькосмугових та широкосмугових оптичних фільтрах).

Основні параметри, описані у рекомендації G.666. Важливими параметрами ПКД є:

- вносимі втрати;
- робоча смуга частот;
- коефіцієнт компенсації дисперсії;
- знак компенсуючої дисперсії.

Компенсатори дисперсії зазвичай використовується спільно з оптичним підсилювачем, що дає можливість виконати 1R регенерацію.

Хроматична дисперсія обумовлена затримками між груповими швидкостями на різних довжинах хвиль і в ВОСП призводить до уширення

імпульсів, що можна побачити як «схлопування очей» на око-діаграмах (рисунок 11.24)

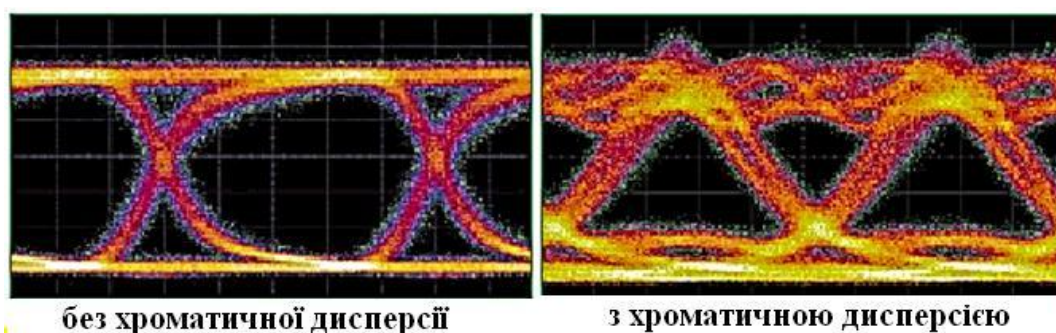


Рисунок 11.24 — Ефект хроматичної дисперсії: розширення імпульсів.

Основні чинники хроматичної дисперсії в оптичних волокнах є матеріальна дисперсія (залежить від вилі), що виникає при проходженні імпульсу крізь матеріал ОВ та хвиле водної дисперсії, що обумовлена властивостями самого хвилеводу (наприклад діаметром серцевини).

Вплив матеріальної складової (D_M) та хвиле водної складової (D_W) на повну хроматичну дисперсію (D) можна проілюструвати наступним чином (рисунок 11.25)

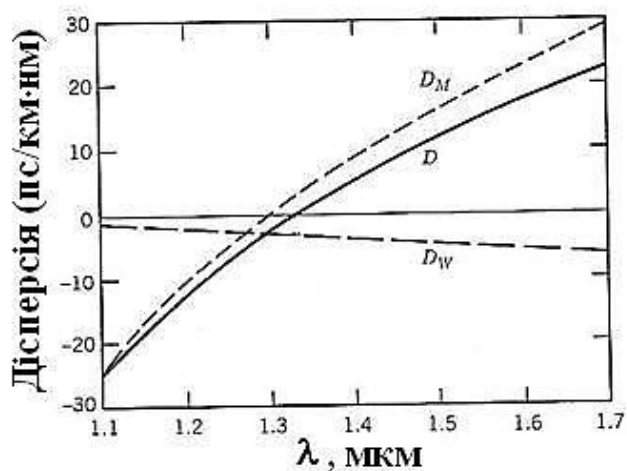


Рисунок 11.25 — Внесок матеріальної та хвилеводної складових хроматичної дисперсії.

Поляризаційна дисперсія моди пов'язана з DGD (Differential Group Delay – диференційна групова затримка), різницею в часі між груповими затримками двох ортогональних складових моди коли в наслідок некруглості серцевини оптичного волокна дві ортогональні складові моди розповсюджуються з різними швидкостями. Отже причини котрі викликають ПМД розподілені випадковим чином вздовж волокна.

Вимірювання хроматичної дисперсії.

Хроматичну дисперсію вимірюють за допомогою методів, в основі котрих лежить вимірювання часу розповсюдження оптичних сигналів з різними

довжинами хвиль і методів, в основі котрих відбувається вимірювання фазового зсуву оптичних сигналів з різними довжинами хвиль.

Вимірювання хроматичної дисперсії за допомогою оптичного рефлектометра здійснюється отриманням рефлектограм на чотирьох довжинах хвиль (1310, 1480, 1550, 1625 нм), та визначені залежності затримки від довжини хвилі з подальшим обчисленням нахилу дисперсійної характеристики.

Математична обробка результатів вимірювань здійснюється за допомогою рівняння Селмейєра. Визначається затримка оптичного сигналу від довжини хвилі і обчислюється нахил дисперсійної характеристики. На рисунку 11.26 а, показані результати рефлектометричних вимірювань, а на 11.25 б, показані графіки хроматичної дисперсії (пс/км) і коефіцієнта дисперсії (пс/нм·км), виміряні для реальної траси транспортної мережі.

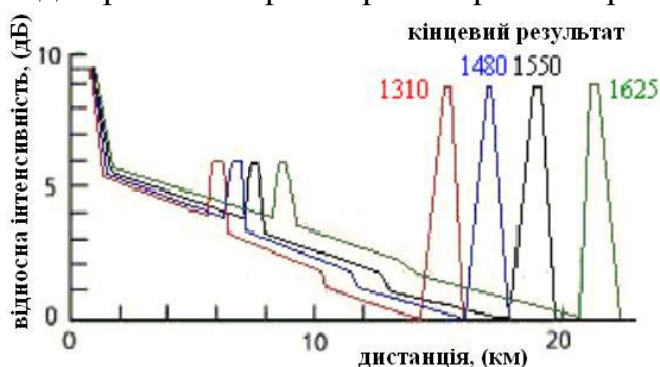


Рисунок 11.26 а — Рефлектограми для чотирьох довжин хвиль.

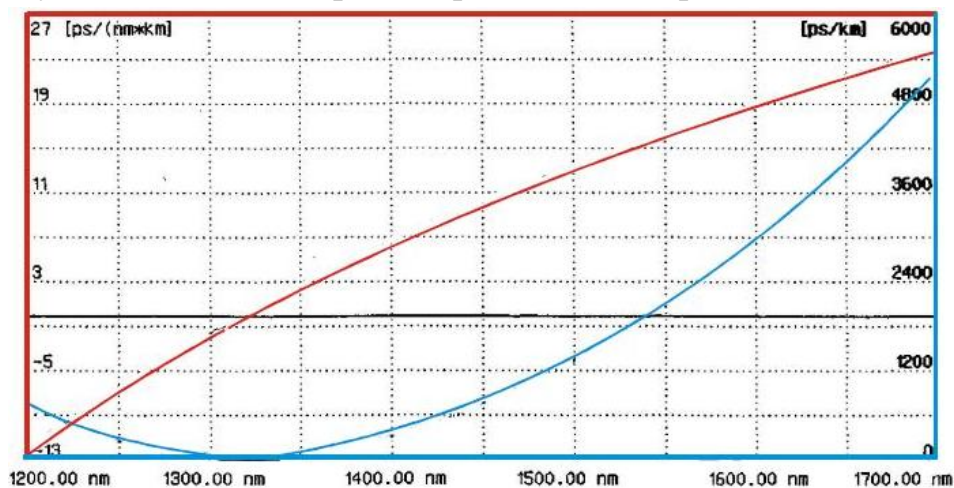


Рисунок 11.26 б — Результат вимірювань хроматичної дисперсії (нижня крива) та коефіцієнта дисперсії (верхня крива).

Перевірка параметрів компенсаторів хроматичної дисперсії

Робоча смуга довжин хвиль

Вимірювання проводять відповідно до [11.10 рисунок 1 пункт 3]. За відсутності оптичного смугового фільтру, можна проводити виміри відповідно до [11.4 рисунок 1 пункт 3]. А за наявності електричного спектроаналізатора, — за схемою, що наведена у [11.3 рисунок 1 пункт 3].

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.27.



Рисунок 11.27 — Схема вимірювання робочої смуги довжин хвиль.

Максимальні вносимі втрати

Виміри проводять відповідно до [11.11] [11.3]; [11.4].

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.10.

Максимальна поляризаційна дисперсія моди

Вимірювання компенсації ПДМ компенсатором дисперсії доцільно проводити на лінійних випробуваннях. Виміри проводять за допомогою інтерферометричного методу. На компенсатор дисперсії подається сигнал з широкосмугового джерела, за котрим йде поляризатор, або – від світлодіоду, котрий випромінює світло відповідної лінійної поляризації. Сигнал аналізується за допомогою інтерферометра Майкельсона.

Схема вимірювань (за допомогою інтерферометра Майкельсона [11.12] наведена на рисунку 11.28.

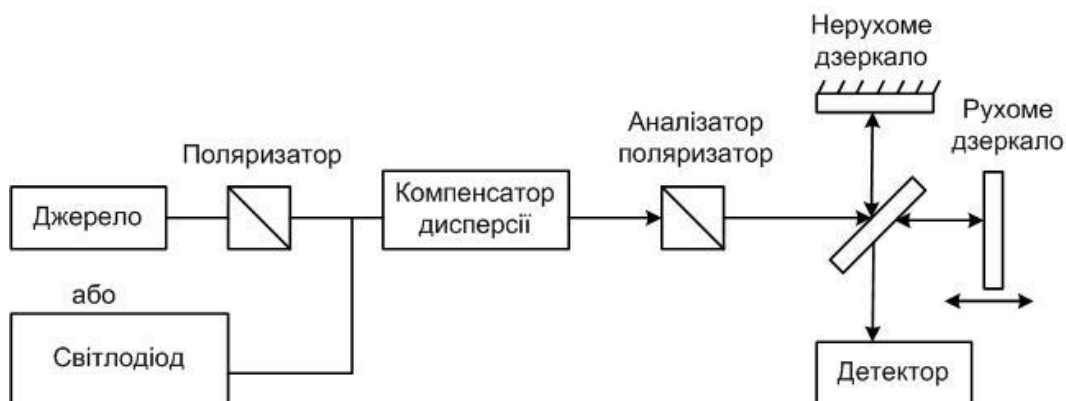


Рисунок 11.28 Вимірювання максимальної ПМД

Максимальний штраф за оптичний шлях

Параметр залежить від мінімальної чутливості приймача та відображає сукупність повної дисперсії та загасання відбиття, отримані в лінії. Перевищення нормованого параметра призводить до погіршення роботи системи.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.29.

Проводиться вимірювання величин загасань, що вносяться в лінійний тракт (з допомогою змінного атенюатора до моменту перевищення коефіцієнта помилок), без лінії та з секцією оптичних волокон (10 км; 15 км; 25 км) і постійних атенюаторів, котрі вирівнюють розбіжності між втратами на різних довжинах секцій волокна.



Рисунок 11.29 Вимірювання максимального штрафу за оптичний шлях.

11.9 Оптичні підсилювачі.

Оптичний підсилювач (ОП) – пристрій волоконно-оптичної системи передавання, котрий призначений для підсилення оптичного сигналу без перетворення його в електричний.

Оптичний волоконний підсилювач (ОВП) – оптичний підсилювач, виготовленого на основі оптичного волокна довжиною (приблизно 10 метрів) із осердям з матеріалу, легованого іонами рідкоземельних хімічних елементів, наприклад, ербію (активне середовище) і оптичною системою накачування.

Розподілений оптичний підсилювач – підсилювачі в котрих ефект підсилення відбувається у волокні, котре використовується для передачі інформації, як при раманівському накачуванню, і таким чином розподіленому по частині або всьому передавальному тракту.

Дискретний оптичний підсилювач – підсилювачі в котрих ефект підсилення відбувається у волокні з допомогою вимушеного розсіювання Рамана, а всі фізичні компоненти підсилювача знаходяться в середині одного пристрою.

Підсилювачі оптичного діапазону OAs (Optical Amplifiers) згідно рекомендації ITU-T G.661 – пристрої або вузли системи, в котрих оптичні сигнали можуть бути підсилені за допомогою вимушеної емісії, що відбувається у відповідному активному середовищі. У цьому активному середовищі створюються умови, що необхідні до виникнення вимушеної емісії, котра досягається і підтримується за допомогою відповідної системи накачування.

Активне середовище (леговане ОВ) – це речовина, що містить мікрочастинки, котрі мають енергетичні рівні ε_1 і ε_2 , які задовольняють умові $h\nu = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$, де h – постійна Планка, ν – частота підсилюваного сигналу.

Накачування – це процес переводу мікрочасток речовини активного середовища підсилювача на вищі енергетичні рівні під впливом зовнішнього

електромагнітного випромінення або постійного електричного струму (або напруги). З цією метою використовують лазерний діод накачування. По-суті накачування переводить речовину активного середовища підсилювача у стан, коли активне середовище випромінює енергію за якої можливе підсилення (або генерація) електромагнітних хвиль, введеного в це середовище ЙОВ оптичного сигналу.

В системах зі спектральним ущільненням каналів оптичні підсилювачі забезпечують безпосереднє підсилення всіх оптичних каналів, що передані WDM мультиплексором, без їх перетворення у електричні сигнали та знову у оптичні. Оптичні підсилювачі підсилюють сигнал, що проходить через них, і використовують різні активні оптичні середовища та нелінійні ефекти. Вони не виконують 3R регенерацію, на відміну від регенераторів. Згідно з рисунком А.1 рекомендації ITU-T G.872 регенерація сигналу поділяється на такі різновиди:

- 1R (підсилення та корекція частоти і дисперсії);
- 2R (1R + відновлення первинної цифрової форми сигналу та пригнічення шуму);
- 3R (2R + відновлення форми та положення імпульсу).

На відміну від регенераторів оптичні підсилювачі не виконують 3R регенерацію. По-суті оптичний підсилювач здатний виконувати функції 1R регенератора лише у сукупності з використанням компенсаторів дисперсії.

На практиці в лінії між регенераторами може застосовуватись до 10 оптичних підсилювачів (на кількість оптичних підсилювачів впливає шум, що вноситься підсилювачем).

У системах з WDM, оптичні підсилювачі обов'язково використовуються після WDM мультиплексора і перед WDM демультимплексором для компенсації енергетичних втрат.

В залежності від застосування, оптичні підсилювачі класифікують як:

- *попередній підсилювач (ПоП)* – оптичний підсилювач, з низьким рівнем шуму якій вмикають перед оптичним приймачем для покращення його чутливості, також до складу ПоП може входити оптичний фільтр для зменшення шумів оптичного підсилювача;
- *лінійний підсилювач (ЛП)* – оптичний підсилювач з низьким рівнем шуму, який вмикають перед оптичним приймачем для покращення його чутливості. ЛП (має низький рівень шуму) вмикають на виході ділянки оптичного волокна проміжної станції ВОСП, для компенсування втрат, що вносяться волокном;
- *підсилювачі потужності (ПП)* або бустер – оптичний підсилювач, якій використовують для підвищення потужності оптичного сигналу.

Оптичний попередній підсилювач та підсилювач потужності можуть бути інтегровані в обладнання відповідно оптичного приймача і оптичного передавача, що відповідно дозволяє збільшувати потужність передавача та чутливість приймача, тож вимоги до таких інтегрованих оптичних підсилювачів будуть відповідно як до ПоП та ПП.

ВОСП з оптичними підсилювачами не обов'язково може мати всі види (ПоП, ПП, ЛП) оптичних підсилювачів, в залежності від конкретних умов (параметри обладнання, довжина лінії, тощо) можливі різні конфігурації з наявністю якогось одного або кількох видів ОП.

Застосування оптичних підсилювачів в одно каналних ВОСП, описано в рекомендаціях ITU-T G.691, G.692, до проблем застосування ОП в одно каналних ВОСП відносять шуми, дисперсію, вимушене розсіювання Бріллюєна та інші.

Застосування оптичних підсилювачів для багатоканальних систем ВОСП, описано в рекомендації ITU-T G.692. В багатоканальних систем до проблем застосування ОП в одно каналних системах додаються також проблеми наявності нелінійних ефектів (перехресна фазова модуляція, чотири хвильове змішування, вимушене комбінаційне розсіювання).

Деякі додаткові відомості стосовно оптичних підсилювачів, а також їх параметрів і застосування, можна знайти у ITU-T G.Sup39.

Таблиця 11.3 — Параметри для специфікації ОП на ВОСП згідно рекомендації ITU-T G.692.

Параметр	Одноканальні ВОСП			Багатоканальні ВОСП		
	ПоП	ПП	ЛП	ПоП	ПП	ЛП
Діапазон вхідної потужності	☑	☑	☑			
Діапазон вихідної потужності	☑	☑	☑			
Діапазон довжин хвиль для заданої потужності	☑	☑				
Величина шуму для спонтанного сигналу	☑	☑	☑			
Вхідне відбиття	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Вихідне відбиття	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Втрати накачування входу (лише для ОВП)	☑	☑		☑	☑	
Максимальне допустиме відбиття на вході	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Максимальне допустиме відбиття на виході	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Максимальна сумарна вихідна потужність	☑	☑	☑	☑	☑	☑
Розподіл каналів				☑	☑	☑
Сумарний діапазон вхідної потужності				☑	☑	☑
Сумарний діапазон вихідної потужності					☑	
Канальний діапазон вхідної потужності				☑	☑	☑
Канальний діапазон вихідної потужності				☑	☑	☑
Величина шуму для спонтанного сигналу в				☑	☑	☑

каналі						
Відгук коефіцієнта підсилення при додаванні/видаленні каналу (стійкість стану)				☑	☑	☑
Відгук коефіцієнта підсилення при додаванні/видаленні каналу (перехідний стан)				☑	☑	☑
Діапазон довжин хвиль з підсиленням на низькому рівні сигналу	☑		☑			
Переналаштовувемий діапазон довжин хвиль	☑					
Підсилення при низькому рівні сигналу	☑		☑			
Підсилення каналу				☑		☑
Багатоканальне відхилення коефіцієнта підсилення (міжканальна різниця коефіцієнта підсилення)				☑		☑
Різниця зміни багатоканального коефіцієнта підсилення (міжканальна різниця коефіцієнта підсилення)						☑
Нахил багатоканального коефіцієнта підсилення (міжканальний коефіцієнт зміни коефіцієнта підсилення)						☑
Дисперсія обумовлена поляризаційною дисперсією моди (ПМД)			☑			☑
Вхідна потужність насичення			☑			

Коефіцієнт підсилення – збільшення потужності випромінювання оптичного сигналу в оптичному підсилювачі від точки на вході до точки на виході оптичного підсилювача, (дБ).

Коефіцієнт підсилення слабого сигналу – коефіцієнт підсилення підсилювача, що працює в лінійному режимі, крім того він фактично не залежить від потужності випромінювання оптичного сигналу на вході при заданій довжині хвилі сигналу і рівні потужності оптичного випромінювання накачування.

Підсилення, що залежить від поляризації – максимальна зміна коефіцієнта підсилення оптичного підсилювача в наслідок зміни стану поляризації вхідного сигналу за номінальних умов експлуатації.

Ступінь поляризації – значення для кожної довжини хвилі випромінювання джерела оптичного накачування (стосовно пристроїв накачування для волоконних раманівських підсилювачів) $\frac{P_{max}-P_{min}}{P_{max}+P_{min}}$.

P_{max} P_{min} – максимальна та мінімальна оптичні потужності оптичного випромінювання джерела накачування при всіх станах поляризації на певній хвилі випромінювання, виміряні в межах визначеної ширини смуги.

Ступінь поляризації може значно впливати на коефіцієнт підсилення, оскільки раманівський ефект, на котрому працюють раманівські підсилювачі, залежить від поляризації. При цьому слід взяти до уваги, що при застосуванні для накачування багатоходового лазера, ступінь поляризації випромінювання

потрібно визначати на кожній хвилі, а не як загального вихідного випромінення.

Кодування категорій оптичних підсилювачів відбувається у відповідності з рекомендацією ITU-T G661 та стандартом IEC 61292-3, наступним чином:

A – ОВП з використанням волокон на кремнієвій основі, легованих іонами ербія для створення активного волокна;

B – ОВП з використанням волокон на кремнієвій основі, легованих іншими матеріалами;

C – Раманівські підсилювачі;

D – напівпровідникові оптичні підсилювачі;

E – планарні ОВП;

1 – підсилювачі потужності (бестери);

2 – попередні оптичні підсилювачі;

3 – лінійні підсилювачі;

4 – передавачі з оптичним підсилювачем;

5 – приймачі з оптичним підсилювачем;

6 – підсилювач з розподіленням підсиленням;

7 – композитні (составні) підсилювачі з розподіленням підсиленням та дискретні підсилювачі;

a – підсилювачі для аналогової одно каналної передачі (довжина хвилі);

b – підсилювачі для цифрової одноканальної передачі (довжина хвилі);

c – підсилювачі для цифрової багатоканальної передачі (довжина хвиль).

При застосуванні оптичних підсилювачів важливо визначити число каскадів оптичних підсилювачів, необхідних для кожного оптичного каналу. Число каскадів оптичних підсилювачів, допустиме в оптичному каналі, обмежується сумарним шумом, котрий вносить кожний підсилювач. Кожний підсилювач дещо погіршує відношення сигнал шум (OSNR). З досягненням мінімального OSNR (тобто значення OSNR, нижче котрого на боці приймача будуть з'являтися помилки), стає необхідним на проміжній станції ВОСП оптико-електрично-оптичний вузол регенерації (OEO).

Окрім цього, у випадку використання оптичних підсилювачів потужності (бустерів) максимально допустимий рівень потужності на канал не повинен перевищувати +10 дБм для каналу 10 Гбіт/с та +15 дБм для каналу 2,5 Гбіт/с та нижчої швидкості. Перевищення рівня потужності може викликати нелінійні ефекти в оптичному волокні.

Також ефективним засобом для збільшення дальності роботи системи є використання FEC (Forward Error Correction – система зі зворотно

вирішувальним зв'язком для попередньої корекції помилок), що наведена у Рекомендації ITU-T G.709/Y.1331.

На сучасному етапі існує велика різноманітність оптичних підсилювачів, котрі використовують різні активні середовища і ефекти для підсилення оптичних сигналів.

Параметри оптичних підсилювачів, їх характеристики та методи їх виміру, що описані у рекомендаціях ITU G.661, G.662, G.663, G.665 та стандартах IEC 61290-1, IEC 61290-3-1, IEC 61290-3-2, IEC 61290-4-1, IEC 61290-5-1, IEC 61290-5-2, IEC 61290-5-3, IEC 61290-10-2, IEC 61291-1, IEC 61291-4, IEC 61292-3:

- коефіцієнт підсилення сигналу;
- рівномірність коефіцієнта підсилення;
- поляризаційна залежність коефіцієнта підсилення;
- профіль підсилення;
- підсилене спонтанне випромінювання;
- шум-фактор.

Основні типи оптичних підсилювачів наведено у таблиці 11.4.

Таблиця 11.4 — Типи оптичних підсилювачів

№	Типи підсилювачів	Сфера застосування	Рекомендації
1	Підсилювач на волокні, що використовує розсіювання Бріллюена	Підсилення сигналу одного каналу (з однією довжиною хвилі)	
2	Підсилювач на волокні, що використовує Раманівське розсіювання	Підсилення сигналів кількох каналалів	ITU G.665 IEC 61292-3
3	Параметричні оптичні підсилювачі	Підсилення кількох каналів одночасно	
4	Напівпровідникові лазерні підсилювачі	Підсилення сигналів великої кількості каналів в широкій області діапазону хвиль одночасно	ITU G.661, G.662, G.663
5	Підсилювачі на волокні з домішками	Підсилення сигналів великої кількості каналів в широкій області діапазону хвиль одночасно	ITU G.661, G.662, G.663

При проектуванні, монтажних роботах та експлуатації ВОСП з оптичними підсилювачами, обов'язково необхідно приділяти увагу оптичній безпеці, згідно вимог рекомендації ITU-T G.664 та стандартів IEC 60825-1, IEC 60825-2 та IEC/TR 61292-4.

Для визначення параметрів оптичних підсилювачів рекомендується використовувати методи випробувань згідно стандартів як показано в таблиці 11.5.

Таблиця 11.5 — Методи випробувань параметрів оптичних підсилювачів.

Параметри	Стандарт	Методи випробувань (МВ)
Параметри пов'язані з підсилення	IEC 61290-1	IEC 61290-1-1: Оптичний аналізатор спектру, МВ IEC 61290-1-2: Електричний аналізатор спектру, МВ IEC 61290-1-3: Вимірювач оптичної потужності, МВ IEC 61290-10-1: Багатоканальний імпульсний метод з використанням оптичного комутатору та оптичного аналізатору спектру IEC 61290-10-2: Багатоканальний імпульсний метод з використанням оптичного аналізатору спектру зі стробуванням ¹³ . IEC 61290-10-3: Багатоканальні методи з використанням тестових сигналів, МВ
Параметри пов'язані з потужністю оптичного випромінювання	IEC 61290-1	IEC 61290-1-1: Оптичний аналізатор спектру, МВ IEC 61290-1-2: Електричний аналізатор спектру, МВ IEC 61290-1-3: Вимірювач оптичної потужності, МВ IEC 61290-10-1: Багатоканальний імпульсний метод з використанням оптичного комутатору та оптичного аналізатору спектру IEC 61290-10-2: Багатоканальний імпульсний метод з використанням оптичного аналізатору спектру зі стробуванням. IEC 61290-10-3: Багатоканальні методи з використанням тестових сигналів, МВ
Шумові параметри	IEC 61290-3	IEC 61290-3-1: Оптичний аналізатор спектру, МВ IEC 61290-3-2: Електричний аналізатор спектру, МВ IEC 61290-10-1: Багатоканальний імпульсний метод з використанням оптичного комутатору та оптичного аналізатору спектру IEC 61290-10-2: Багатоканальний імпульсний метод з використанням оптичного аналізатору спектру зі стробуванням. IEC 61290-10-3: Багатоканальні методи з використанням тестових сигналів, МВ
Поляризаційна дисперсія моди	IEC 61290-11	IEC 61290-11-1: Метод аналізу на основі матрац Джонса, МВ IEC 61290-11-1: Метод аналізу сфер Пуанкаре, МВ
Параметри пов'язані з відбиттям	IEC 61290-5	IEC 61290-5-1: Оптичний аналізатор спектру, МВ IEC 61290-5-2: Електричний аналізатор спектру, МВ IEC 61290-5-3: Випробування на допуск по відбиттю, електричний аналізатор спектру, МВ
Параметри пов'язані з просочуванням випромінювання накачування	IEC 61290-6	IEC 61290-6-1: Оптичний демультимплексор, МВ
Параметри пов'язані з втратами, що вносяться	IEC 61290-7	IEC 61290-7-1: Вимірювач потужності фільтрації, МВ
Параметри підсистем на базі оптичних підсилювачів.	IEC 61290-9	В стані розробки

¹³ Стробування (від англ. *strobing*, від *strobe*) – посылати виборчі імпульси.

Нижче розглянуті деякі різновиди оптичних підсилювачів.

Підсилювач на волокні, що використовує розсіювання Бріллюена

Стимульоване розсіювання Бріллюена – нелінійне явище, за якого енергія оптичної хвилі на частоті f_1 переходить у енергію нової хвилі на частоті f_2 . Якщо накачування відбувається на частоті f_1 , то такий підсилювач здатен підсилювати корисний сигнал на частоті f_2 .

Явище розсіювання Бріллюена виникає за потужності накачування порядку 10 мВт. Рівень граничної потужності за, якого виникає розсіювання Бріллюена, пропорційний ширині спектральної лінії лазера накачування, ефективній площі серцевини волоконного світловоду, та обернено пропорційний довжині волокна.

Підсилювач на волокні, що використовує комбінаційне розсіювання Рамана

Такі підсилювачі використовують нелінійне явище, пов'язане із стимульованим Раманівським розсіюванням. Раманівським, розсіювання назване на честь індійського фізика С. В. Рамана, котрий відкрив цей ефект у 1928 р. Принцип дії підсилювача полягає в тому, що частка енергії випромінювання з частотою f_1 , що поширюється у волокні, збуджує молекули речовини, при цьому з'являється компонента світлового потоку з частотою f_2 (антистоксова компонента, де $f_2 < f_1$). Якщо на частоті f_2 передавати корисний сигнал, а потужність накачування на частоті f_1 зробити достатньо великою, то енергія сигналу з частотою f_1 може повністю перейти до сигнального потоку на частоті f_2 , тобто волокно стає розподіленим підсилювачем з коефіцієнтом підсилення, пропорційним потужності накачування.

Таким чином, принцип дії Раманівських підсилювачів тотожний підсилювачам з розсіюванням Бріллюена, однак зсув між частотою корисного сигналу, що підсилюється, та частотою хвилі накачування є більшим. Спектральна смуга підсилення також є ширшою, що дозволяє підсилювати одразу кілька каналів WDM системи.

Явище розсіювання Рамана виникає при потужності накачування порядку $0,5 \div 1,4$ Вт (в залежності від довжини волокна).

Оптичні підсилювачі, котрі побудовані на ефекті стимульованого Раманівського розсіювання, та їхні параметри описані у Рекомендації ITU G.665 та стандарті IEC 61292-3.

Цей тип оптичних підсилювачів є досить перспективним, оскільки такі підсилювачі дозволяють будувати WDM системи, що можуть охоплювати діапазон хвиль O+E+S+C+L одночасно.

Порівняно з широко застосовуваним тепер підсилювачем EDFA (Erbium Doped Fiber Amplification - підсилювач на волокні з домішками ербію), Раманівські підсилювачі набагато кращі за шумовими характеристиками та менш чутливі до температурних впливів.

Раманівські підсилювачі (Raman amplifiers) дозволяють збільшувати число каналів у існуючих лініях зв'язку без заміни вже встановлених EDFA. Вони можуть успішно застосовуватись у підводних лініях середньої протяжності без повторювачів (довжиною біля 300 км), де встановлення підсилювачів EDFA потребує значних витрат. Однак в Раманівських підсилювачах при підсиленні виникає значна перехресна модуляція між підсилюваними каналами, що обмежує застосування таких підсилювачів або одноканальними системами, або системами DWDM зі значним числом каналів, де вплив такої модуляції нівелюється за рахунок усереднення. Окрім того, раманівські підсилювачі мають певні недоліки, пов'язані з нелінійними ефектами і залежністю від поляризації.

Використання Раманівських оптичних підсилювачів дозволяє досягти (при інших рівних умовах) суттєво більшої дальності дії системи тому, що допустиме число каскадів збільшується в 4 рази. Це показано в Рекомендації ITU-T G.966.1.

Внаслідок високого рівня оптичної потужності, котрий розподілені Раманівські підсилювачі вводять у волокно (потенційно вище +30 дБм), потрібно виконувати процедури безпеки, вказані у Рекомендації ITU-T G.664 і стандартах IEC 61292-4, IEC 60825-1 та IEC 60825-2. Інакше в місцях з'єднання з волокном, конекторах і на згинах волокна може виникнути оптичний розряд що призведе до оплавлення волокна і, як наслідок, виходу ВОСП з ладу.

Для уникнення подібних небажаних ефектів, при використанні Раманівських підсилювачів, необхідно обмежувати потужність лазерів накачування в них до 500 мВт, проводити моніторинг потужності, контролювати радіус згину волокон в лінії.

Перед впровадженням Раманівських підсилювачів в існуючі ВОСП, необхідно:

- визначити відстань від підсилювача, що встановлюється, на якій потужність оптичного випромінення буде змінюватися до значень менше 150 мВт;
- оглянути трасу ВОЛС до цієї відстані і ліквідувати всі згини менше 20 мм в діаметрі, або зменшити величину згину;
- при неможливості візуального огляду провести тестування за допомогою рефлектометра з високою роздільною здатністю, для визначення місць збільшення втрат. Це необхідно виконати тому, що

внаслідок виходу в місці згину частини оптичної потужності в оболонку, відбувається її нагрівання, деградація волокна або його займання;

- перевірити чистоту і цілісність роз'ємних оптичних з'єднувачів;
- по можливості контролювати відбиту потужність і якщо графік залежності величини відбитої потужності від величини потужності, що вводиться, має нелінійний характер, то це буде свідчити про наявність значних поглинаючих подій в лінії;
- якщо в процесі експлуатації відбувається падіння рівня підсилення, то це може свідчити як про зменшення рівня потужності накачування так і про збільшення втрат, що викликані пошкодженням або деградацією у з'єднаннях або у волокні лінії.

Згідно з Рекомендацією ITU-T G.665 Раманівські оптичні підсилювачі поділяють на:

- співнаправлені, в котрих накачування здійснюється в напрямку розповсюдження корисного сигналу(рисунок 11.30);



Рисунок 11.30 — Співнаправлені Раманівські оптичні підсилювачі.

- зворотньонаправлені, в котрих накачування здійснюється в напрямку, протилежному напрямку розповсюдження корисного сигналу (рисунок 11,31);

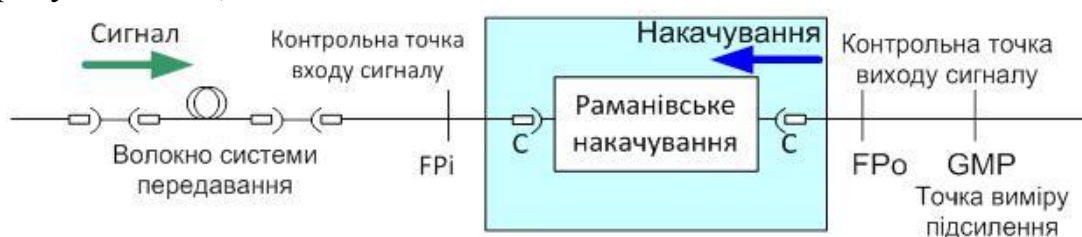


Рисунок 11.31 — Зворотньонаправлені Раманівські оптичні підсилювачі.

- двонаправлені, в котрих накачування здійснюється в обох напрямках (рисунок 11,32).

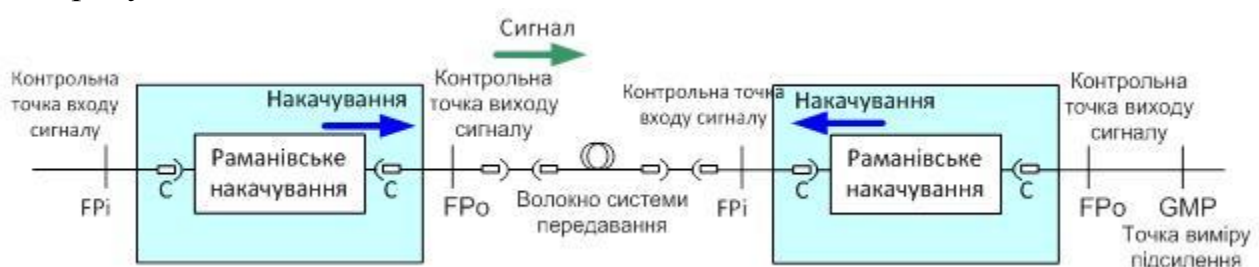


Рисунок 11.32 — Двонаправлені Раманівські оптичні підсилювачі.

Маркування Раманівських підсилювачів, згідно з Рекомендацією ITU-T G.665, здійснюється у такий спосіб:

Сnyz

С – літера, що позначає Раманівський оптичний підсилювач;

n – номер:

- 1 - зосереджені підсилювачі (наприклад, додаткові підсилювачі);
- 2 - зосереджені попередні підсилювачі;
- 3 - зосереджені лінійні підсилювачі;
- 4 - зосереджений підсилювач, суміщений з передавачем – OAT (Optical Amplifier transmitter – оптичний підсилювач з передавачем);
- 5 - зосереджений підсилювач, суміщений з приймачем – OAR (OA Reseiver-приймач);
- 6- розподілений Раманівський підсилювач;
- 7- складний розподілений та зосереджений підсилювач;

y - перша літера:

- a – підсилювач для аналогової одноканального (однохвильового) передавання;
- b - підсилювач для цифрової одноканальної (однохвильової) передачі;
- c – підсилювач для цифрової багатоканального (багатохвильового) передавання;

z - друга літера:

- f – співнаправлене накачування;
- r – зворотньонаправлене накачування;
- b – двонаправлене накачування.

Наприклад:

Сбсr – зворотньонаправлений розподілений Раманівський підсилювач для цифрового багатоканального передавання;

С7bb – двонаправлений складний Раманівський підсилювач для цифрового одноканального передавання.

Параметричні оптичні підсилювачі

Оптичні підсилювачі, що використовують ефект чотирихвильового змішування. Такі підсилювачі потребують великого рівня потужності накачування (порядку 30 ÷ 70 Вт), мають значний коефіцієнт підсилення (до 50 дБ), але їх реалізація складна, що стримує їхнє практичне використання.

Напівпровідникові оптичні підсилювачі

Напівпровідниковий оптичний підсилювач SOA (Semiconductor Optical Amplifiers) – напівпровідниковий оптичний підсилювач, активною речовиною котрого є напівпровідниковий матеріал, а система накачування - електрична.

Напівпровідникові оптичні підсилювачі використовують стимульовану емісію фотонів, котра виникає при взаємодії фотонів, що випромінюються при передачі сигналу, з рекомбінацією носіїв заряду в напівпровіднику.

Розробляються також напівпровідникові оптичні підсилювачі, в яких випромінювання фотонів стимулюється рекомбінацією електронів та дірок в напівпровіднику за допомогою прямої інжекції струму (а не зовнішнього накачування оптичним випромінюванням, як у випадку волокна, легованого ербієм). Такі підсилювачі мають значний інтерес, оскільки дозволяють досягнути високої ефективності підсилення і гнучкості робочої довжини хвилі, хоч і з достатньо високим коефіцієнтом шуму (звичайно на $5 \div 6$ дБ більше, чим у EDFA, в основному за рахунок неможливості уникнути втрат на стику активного шару з волокном). Як і в Раманівських підсилювачах, в SOA виникає значна перехресна модуляція між підсилюваними сигналами, що є перешкодою їх використання у системах DWDM з невеликим числом каналів. Однак, ця ж перехресна модуляція може стати перевагою при використанні підсилювачів SOA для комутації або перетворення довжин хвиль.

У таких підсилювачів коефіцієнти підсилення звичайно мають $22 \div 25$ дБ. Максимум коефіцієнту підсилення залежить від величини струму через напівпровідник, зміщуючись в бік менших довжин хвиль при більшій величині струму і знаходиться у діапазоні $1520 \text{ нм} \div 1460 \text{ нм}$.

Перевагою напівпровідникових підсилювачів є безпосереднє перетворення електричної енергії накачування в енергію оптичного сигналу, при цьому не потрібний мультіплексор (селективний розгалужувач). Малий розмір SOA спрощує їх використання з іншими оптичними компонентами системи зв'язку.

Для підсилювачів SOA виникає проблема стиковки з волокном, оскільки товщина активного шару напівпровідникового підсилювача значно відрізняється від діаметру осердя стандартного оптичного волокна.

Підсилювачі на волокні з домішками

Оптичні підсилювачі, що використовують як активний матеріал ОВ з домішками (рідкоземельні елементи або лантанидів – елементи з 57 по 71 в періодичній таблиці Менделєєва).

Як правило, це Неодим (Nd) та Празеодим (Pr) для підсилення у вікні 1310 нм , Ербій (Er) та Ітербій (Yb) для підсилення у вікні 1550 нм .

Однак ведуться роботи і з домішками інших елементів: Тулій (Tm^{3+}); Гольмій (Ho^{3+}); Церій (Ce^{3+}). Робота над створенням волоконних підсилювачів не обмежується лише використанням вказаних елементів. Необхідно також уточнити, що часто перспективним є легування SiO_2 не одним

рідкоземельним елементом, а їх комбінацією. Наприклад, комбінацією Er^{3+} - Yb^{3+} або Nd^{3+} - Pr^{3+} - Yb^{3+} .

Оскільки у сучасних WDM системах звичайно використовують C та L діапазони, частіше за все на сучасному етапі, використовують підсилювачі, виготовлені на ОВ, легованому іонами ербію – EDFA. Такі підсилювачі ефективно працюють у смузі $1535 \div 1565$ нм, а також в смузі $1565 \div 1630$ нм [11.13]

Підсилювачі EDFA можна поділити за величиною потужності накачування, концентрацією іонів ербію і довжиною ОВ.

Накачування в таких підсилювачах здійснюється лазером на довжинах хвиль 980 нм або 1480 нм (чи їх комбінацією). Лазери на 1480 нм, є менш ефективними (біля 70% від ефективності лазерів на 980 нм), однак вони вважаються більш бажаними, внаслідок більш високої надійності, та достатньо низького рівня шуму (порядку 5 дБ). В WDM системах, для досягнення рівномірності підсилення в заданій смузі частот, необхідно використовувати вузькосмугові згладжуючі фільтри, а також компенсатори дисперсії групових швидкостей, що виникає при проходженні оптичного волокна великої довжини. Для компенсації втрат від цих пристроїв використовують багатокаскадні EDFA [11.13]; [11.14].

Підсилювач на волокні на фторидній основі, легованому іонами тулія Ti^{3+} -TDFFA (Thulium Doped Fluoride-based Fiber Amplifier) має два робочих діапазони (з шириною діапазону до 35 нм): в області довжин хвиль 1460 нм і 1650 нм і коефіцієнтом підсилення на рівні 20 дБ [11.15]. До переваг TDFFA відносяться висока потужність вихідного сигналу в режимі насичення, незалежний від поляризації коефіцієнт підсилення і низький коефіцієнт шуму. До недоліків підсилювача відносяться, окрім високої вартості, також достатньо висока ламкість волокна, легованого іонами тулія и неможливість виконувати якісні зварні з'єднання волокна легованого іонами тулія з волокном, що використовується у ВОК.

Оптичний підсилювач на оптичному волокні, легованому неодимом Nd^{3+} - NDFA, працює на довжині хвилі ,близько 1340 нм і може бути використаний для отримання суттєвого підсилення на робочій довжині хвилі 1310 нм, лише в лабораторних умовах.

Більш вдалим, в цьому плані, можна вважати празеодим, оскільки у нього відсутнє помітне поглинання підсиленого випромінення зі збудженого стану. Основними властивостями підсилювачів цього діапазону є те, що матеріалом для легування звичайно є флюоритове, а не кварцове скло, а також низька ефективність накачування (не вище 4 дБм/мВт). Досліди дають підсилення з рівнем коло 34 дБм при потужності насичення близько 200 мВт.

Оптичні підсилювачі, в котрих в якості легуючої добавки до ОБ на фторидній основі використовуються іони празеодиму Pr^{3+} -PDFFA підсилюють сигнали в області довжини хвилі 1310 нм. Підсилювачі PDFFA мають низький рівень коефіцієнту шуму, але по енергетичним параметрам вони менш ефективні, чим підсилювачі EDFA. Потужність вихідного сигналу підсилювача PDFFA в режимі насичення достатньо висока, а коефіцієнт його підсилення не залежить від поляризації, також як і у підсилювача EDFA. Однак, достатня ефективність накачування для волокна, легованого празеодимом, досягається лише тоді, коли діаметр ОБ значно менше діаметру стандартного волокна. Внаслідок розбіжностей діаметрів волокон, на стику з'єднання виникають оптичні втрати. Також це викликає труднощі в забезпеченні надійності з'єднання.

В підсилювачах, з надто високою потужністю вихідного сигналу, як легуючі домішки використовуються, на додачу до ербію, також ітербій Yb^{3+} . В оптичних підсилювачах YDFA легуючі елементи знаходяться, як правило, в пропорції 1 атом ербію на 15 ÷ 50 атомів ітербію для покращення ефективності підсилювача та для уникнення перегріву лазера за високого рівня накачування [11.16].

При використанні в підсилювачах ітербію, як додаткового легуючого елементу, можна скористатись лазерними діодами накачування, що працюють на довжині хвилі 1053 нм - так звані DPSS (Diod Pumped Solid State lasers – лазери з діодним накачуванням). Це дозволяє отримати більш потужне джерело накачування, що збільшує підсилення або продовжує термін придатності джерела накачування.

Перевірка параметрів оптичних підсилювачів

Середня вхідна потужність

Це потужність на вході підсилювача, при якій його параметри знаходяться в робочому діапазоні. Параметр визначає чутливість підсилювача як приймального пристрою та використовується в розрахунках довжин регенераційних ділянок.

Вимірювання проводять згідно з [11.10] рисунок 1 пункт 3. За відсутності оптичного смугового фільтру, можна проводити виміри відповідно до [11.4] рисунок 1 пункт 3. А за наявності електричного спектроаналізатору, за схемою, що наведена у [11.3 рисунок 1 пункт 3].

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.33.

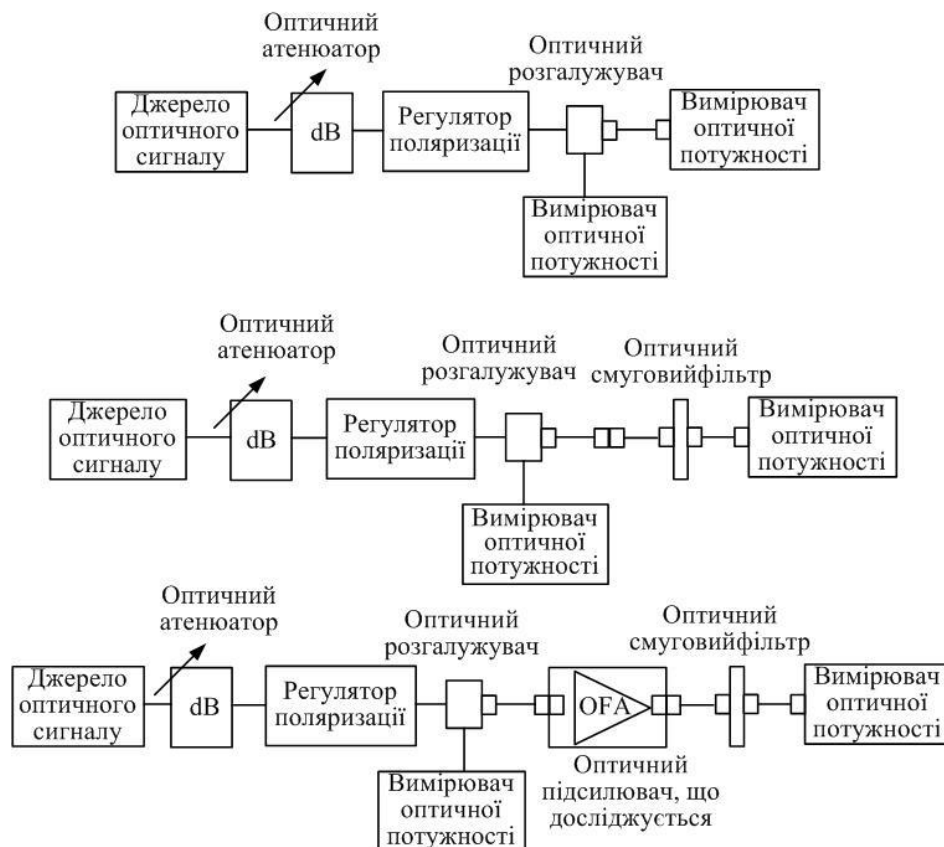


Рисунок 11.33 — Вимірювання середньої входної потужності

Максимальні позасмугові втрати, внесені системою

Схема вимірювань обирається згідно з [11.17] пункт 3 рисунок 1.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.34.

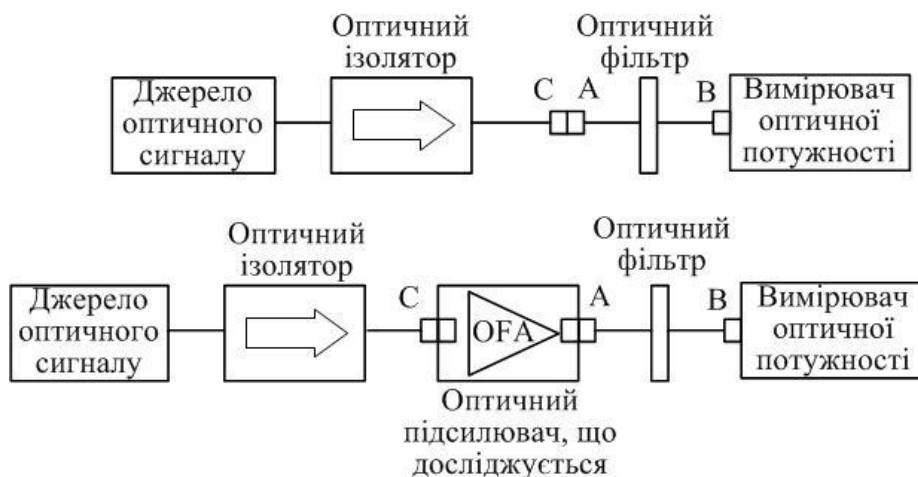


Рисунок 11.34 — Вимірювання позасмугових втрат внесених системою

Середня вихідна потужність

Вимірювання проводяться відповідно до [11.18] (на схемі в якості обладнання, що тестується, встановлюється підсилювач, котрий випробовують).

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.12.

Коефіцієнт відбиття від входу

Схеми дозволяють отримати спектральні характеристики ORL.

$$ORL = 10 \lg \frac{P_{\text{вх.}}}{P_{\text{від.}}}, [\text{дБ}] \quad (11.5)$$

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.35.

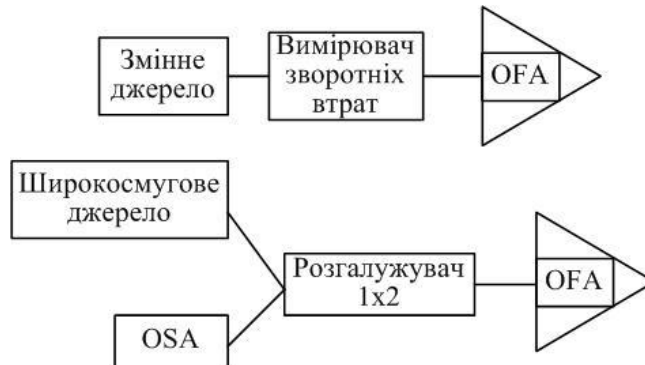


Рисунок 11.35 — Вимірювання коефіцієнту відбиття від входу

Коефіцієнт відбиття від виходу

Вимірювання проводять за аналогією вимірювань коефіцієнта відбиття від входу.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.36.

Коефіцієнт підсилення

Параметр визначає здатність відновлювати сигнал за енергетичними параметрами. Параметр використовується в розрахунках довжини регенераційної ділянки.

Вимірювання проводять відповідно до [11.19] пункт 3 рисунок 1. При наявності модуля регулювання поляризації застосовують схему, наведену на рис.1 [11.20] пункт 3. Модуль регулювання поляризації встановлюється після регульованого оптичного атенуатора та перед OFA, що досліджується.

$$G = \frac{P_{\text{сигн.вих.}}}{P_{\text{сигн.вх.}}} \quad (11.6)$$

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.36.

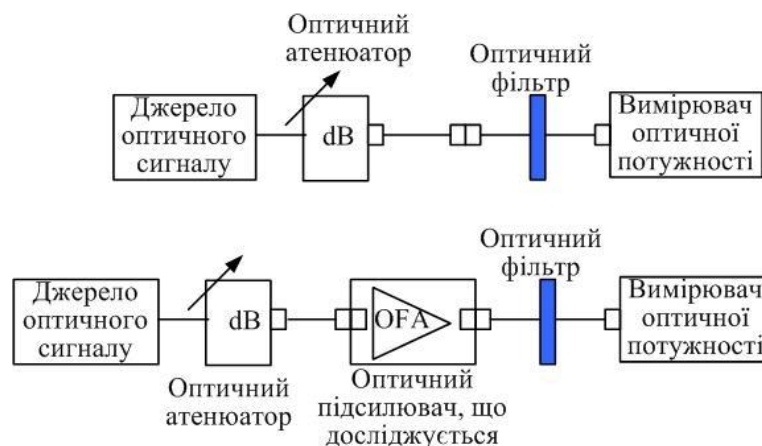


Рисунок 11.36 — Вимірювання коефіцієнту підсилення.

Міжканальне допустиме відхилення коефіцієнта підсилення

Параметр визначає якість роботи підсилювача при відновленні групових трактів.

Покази спектроаналізатору порівнюють з нормованими значеннями.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.37.

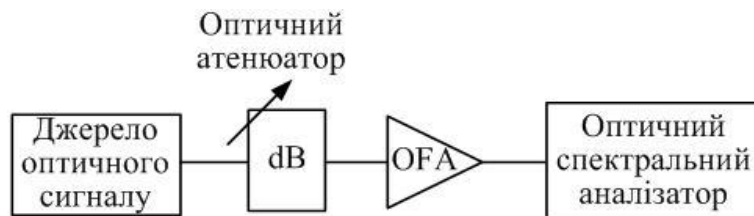


Рисунок 11.37 — Вимірювання мінімально допустимого коефіцієнту підсилення.

Міжканальна нерівномірність коефіцієнта підсилення

Параметр відображає величину відхилення коефіцієнта підсилення від номінального значення. Параметр визначає характер накопичення або втрати енергетичних показників каналів групового сигналу.

Покази спектроаналізатору порівнюють з нормованими значеннями.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.37.

Діапазон (спектр) підсилення оптичного підсилювача

Параметр визначає діапазон довжин хвиль, де забезпечується нормальна робота підсилювача.

Покази спектроаналізатору порівнюють з нормованими значеннями.

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.37.

Коефіцієнт шуму оптичного підсилювача

Параметр визначає потужність шумів, котрі оптичний підсилювач вносить до оптичного тракту. Параметр визначає обмеження на кількість оптичних підсилювачів, що можуть встановлюватись в оптичний тракт між 3R-регенераторами.

Розрахунок за показами спектроаналізатора порівнюють з нормованими значеннями.

$$NF = \frac{OSNR_{ax.}}{OSNR_{вих.}} \quad (11.7)$$

Схема вимірювань наведена на рисунку 11.38.

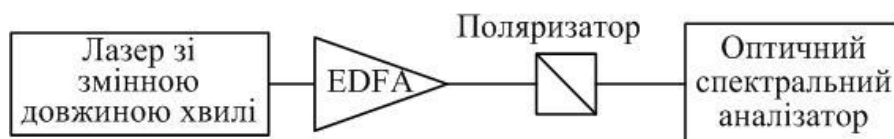


Рисунок 11.38 Вимірювання коефіцієнту шуму оптичного підсилювача

11.10 Хвильові конвертори.

Хвильовий конвертор – оптичний пристрій (транспондер) для перенесення оптичного сигналу з одного діапазону довжини хвилі на інший.

Так, якщо інформаційний сигнал у підмережі 1 було представлено каналом на довжині хвилі, котра вже задіяна в іншій підмережі – 2, то хвильовий конвертер може перетворити цей сигнал при переході з підмережі 1 в підмережу 2 на іншу вільну в підмережі 2 довжину хвилі, забезпечивши прозорий зв'язок між пристроями в різних підмережах. У оптичних хвильових конвертерах використовується ефект чотирехвильового змішування, перехресної модуляції та інші нелінійні ефекти, в оптикоелектронних конверторах відбувається о-е-о перетворення сигналу.

В оптикоелектронних конверторах приймач здійснює підсилення сигналу і його о-е перетворення, далі відбувається регенерація сигналу і передача на вихідний лазер з е-о перетворенням сигналу.

Для оптичних хвильових конверторів важливими параметрами є:

- внесені втрати;
- перехресні завади;
- втрати на відбиття.

Принцип дії оптичного хвильового конвертора можна проілюструвати наступним чином. Наприклад є вхідний сигнал $\lambda_{\text{вх.}}$, на котрий діє сигнал накачування з $\lambda_{\text{н}}$ і взаємодії його з вхідним сигналом, в нелінійному середовищі, на виході хвильового конвертору отримуємо сигнал $\lambda_{\text{вих.}}$.

Хвильові конвертори можуть мати фіксовані та налаштовуємі набори довжин хвиль на своїх входах та виходах.

Перелік посилань до розділу 11

- 11.1 ІЕС 61280-2-1 Методики випробувань волоконно-оптичних підсистем зв'язку. Частина 2-1. Системи цифрові. Вимірювання чутливості і перенавантаження приймачів.
- 11.2 ІЕС 61300-3-4 Пристрої міжз'єднувальні волоконно-оптичні та пасивні компоненти. Основні методи випробувань і вимірювань. Частина 3-4. Випробування і вимірювання. Загасання.
- 11.3 ІЕС 61290-2-2 Волоконно-оптичні підсилювачі. Базова специфікація. Частина 2-2. Методи випробування параметрів оптичної потужності. Електричний аналізатор спектру.

- 11.4 IEC 61290-2-1 Підсилювачі оптичні. Методи випробувань. Частина 1-1. Метод із застосуванням оптичного аналізатора спектру.
- 11.5 IEC 61280-1-1 Методики основних випробувань волоконно-оптичних підсистем зв'язку. Частина 1-1. Процедури випробувань загальних підсистем зв'язку. Вимірювання вихідної потужності передавача для одномодового волоконно-оптичного кабелю.
- 11.6 IEC 61280-2-2 Методики випробувань волоконно-оптичних підсистем зв'язку. Частина 2-2. Системи цифрові. Визначення оптичної «око-діаграми», форми хвилі та коефіцієнту загасання.
- 11.7 ITU-T Recommendation O.201 Q-factor test equipment to estimate the transmission performance of optical channels.
- 11.8 ITU-T Recommendation G.Sup. 39 Optical system design and engineering considerations.
- 11.9 IEC 61300-3-7 Пристрої міжз'єднувальні волоконно-оптичні та пасивні компоненти. Основні методи випробувань і вимірювань. Частина 3-7 Випробування і вимірювання. Залежність загасання і втрати на відбиття від довжини хвилі.
- 11.10 IEC 61290-2-3 Волоконно-оптичні підсилювачі. Базова специфікація. Частина 2-3. Методи випробувань параметрів оптичної потужності. Вимірювач оптичної потужності.
- 11.11 IEC 61300-3-4 Пристрої міжз'єднувальні волоконно-оптичні та пасивні компоненти. Основні методи випробувань та вимірювань. Частина 3-4. Випробування і вимірювання. Загасання.
- 11.12 ITU-T Recommendation G.650.2 Definitions and test methods for statistical and non-linear related attributes of single-mode fibre and cable.
- 11.13 Trivedi D. A., Strite T., Gerlas van den Hoven// WDM solutions. 2000 № 4. P. 14-20.
- 11.14 Дианов Е.М., Карпов В.И., Курков А.С., Протопопов В.Н. "Методы сглаживания спектра усиления эрбиевых волоконных усилителей". Квантовая электроника, 1996, т.23, сс.1059_1064.
- 11.15 Yvonne Carts-Powell// WDM solutions. 2000 № 7. P. 9, 20.
- 11.16 Fedrighi M., Di Pasquale F. // IEEE Photonics Technology Lett. 1995. Vol. 7. N 3. P. 303.
- 11.17 IEC 61290-7-1 Підсилювачі волоконно-оптичні. Загальні технічні умови. Частина 7-1. Методи випробувань для визначення втрат, що вносяться поза смугою пропускання. Оптичний аналізатор спектру.

-
- 11.18 ІЕС 61280-1-1 Методики основних випробувань волоконно-оптичних підсистем зв'язку. Частина 1-1. Процедури випробувань загальних підсистем зв'язку. Вимірювання вихідної оптичної потужності передавача для одномодового волоконно-оптичного кабелю.
- 11.19 ІЕС 61290-1-3 Оптичні підсилювачі на базі оптичних волокон. Базові специфікації. Частина 1-3. Методи випробувань параметрів підсилювання. Вимірювачі оптичної потужності.
- 11.20 ІЕС 61290-1-13 Оптичні підсилювачі. Методивипробувань. Частина 1-1. Метод із застосуванням оптичного аналізатора спектру.

ДОДАТОК А

Термінологічні варіанти FTTx

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

FTTA(Fiber To The Apartment) – Волокно до оселі, житлового приміщення користувача.

FTTAir(Fiber To The Air) – Волокно до повітря (волокно до точки радіодоступу).

FTTArea(Fiber To The Area) – Волокно до певної області (точки) доступу користувача.

FTTAntenna(Fiber To The Antenna) – Волокно до антени.

FTTAmplifier(Fiber To The Amplifier) – Волокно до підсилювача (який передає сигнал до області (точки) доступу користувачу чи мідному сегменту мережі).

FTTB¹²³⁴⁵(Fiber To The Building) – Волокно до будинку.

FTTBasement(Fiber To The Basement) – Волокно до підвалу будинка.

FTTBusiness³(Fiber To The Business) – Волокно до роботи. Концепція фактично є аналогом концепції FTTH, з тією різницею, що FTTBusiness передбачає мережне закінчення, яке буде обслуговувати кількох користувачів (наприклад, офісний сервер) і тому така концепція мережі буде мати жорсткіші вимоги до елементів мережі для забезпечення якості роботи мережі в цілому.

FTTC¹²³⁴⁵(Fiber To The Curb) – Волокно до розподільчої шафи, в якій сигнал перетворюється і подається у абонентські лінії (мідні виті (обвиті) пари).

FTTCabinet¹³⁴(Fiber To The Cabinet) – Волокно до розподільчої шафи або до приміщення з розподільчим обладнанням.

FTTCell⁵(Fibre to the cell site) – Волокно до базової станції мобільного зв'язку.

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

FTTDesktop(Fiber To The Desktop) – Волокно до робочого столу.

FTTDormitory(Fiber To The Dormitory) – Волокно до гуртожитку, фактично є різновидом архітектури «волокно до будинку».

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

FTTI(Fiber To The Institute) – Волокно до інституту, фактично є різновидом архітектури «волокно до будинку».

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

FTTFloor(Fiber to the Floor) – Волокно на поверх.

FTTH¹²³⁴⁵(Fiber To The Home) – Волокно до абоненту, будинку користувача. Архітектура побудови мережі, за якої волоконно-оптичний кабель використовується для з'єднання центру надання послуг (телефонна станція) і квартири (певного приміщення) або приватного будинку.

FTTHR(Fiber To The High Rise) – Волокно до висотного будинку.

FTTK(Fiber To The Kerb) – Волокно до розподільчої шафи (фактично аналог FTTC).

FTTL(Fiber To The Loop) – Волокно до абонентської лінії.

FTTM(Fiber To The Multi Dwelling Unit) – Волокно до багатоквартирного будинку.

FTTN(Fiber To The Node) – Волокно до розподільчого вузла.

FTTNeighbourhood(Fiber To The Neighbourhood) – Волокно до житлового сектору.

FTTO²³⁴⁵(Fiber To The Office) – Волокно до офісу, є подальшим розвитком FTTB, де волокно подається до кожного офісу, котрий розташований у будівлі.

FTTOptimum(Fiber To The Optimum) – Волокно до оптимальної для оператора і/або користувача точки.

FTTP(Fiber To The Premises) – Волокно до приміщення.

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

FTTRadio(Fiber To The Radio) – Волокно до радіо (волокно до радіо доступу).

FTTRoof(Fiber To The Roof) – Волокно до даху будівлі.

FTTS(Fiber To The Seat) – Волокно до певного місця.

FTTSchool(Fiber To The School) – Волокно до школи, фактично є різновидом архітектури «волокно до будинку».

FTTSubscriber(Fiber To The Subscriber) – Волокно до користувача.

FTTU (Fiber To The User) – Волокно до користувача.

FTTV(Fiber To The Village) – Волокно до села.

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

FTTZ(Fiber To The Zone) – Волокно до центру певної зони доступу користувачів.

FTTT(Fiber To The Terminal) – Волокно до терміналу.

FTTTE(Fiber To The Telecom Enclosure) – Волокно до телекомунікаційного корпусу (до корпусу телекомунікаційного пристрою).

FTTTown(Fiber To The Town) – Волокно до містечка.

Надрядкові цифри ¹²³⁴⁵ означають концепції визначені:

¹ – рекомендації ITU-T G.983.1, G.983.3, G.983.4, G.984.1;

² – рекомендації ITU-T G.982;

³ – рекомендації ITU-T G.983.2;

⁴ – рекомендації ITU-T G.983.5;

⁵ – рекомендації ITU-T G.987.1.

З наведених вище концепцій видно, що вони найчастіше просто дублюють одна одну (інколи лише вказуючи на відмінність в застосуванні волокна на останніх метрах мережі або на певні вимоги до елементів мережі), а в більшій мірі просто надумані і є, по суті, продуктом менеджерів телекомунікаційних компаній, тому наведений список не є остаточним з огляду на невичерпну фантазію розробників таких концепцій.

Умовно, за наближенням оптичного волокна до абонента, можна виділити три певні зони на мережі доступу (відповідно до термінології ITU-T):

- волокно до певного району (FTTC, FTTCabinet);
- волокно до будинку (FTTB);
- волокно безпосередньо до абонента (FTTH, FTTBusiness, FTTO);
- волокно до антени, при підключенні базових станцій мобільного зв'язку за допомогою оптичних кабелів (FTTA).

Це ілюструє мережна архітектура наведена в рекомендаціях ITU-T G.983.1, G.984.1 та G.987.1.

Не виключено, що в наступних версіях рекомендацій ITU-T з'являться нові варіанти концепцій FTTx.

ДОДАТОК Б
Рекомендації щодо технічного оснащення бригад, які обслуговують оптичні мережі доступу

Перелік оснащення однієї бригади ЛКС, котра обслуговує магістральний та розподільчий сегменти мережі.

Обслуговування ЛКС має складатись з декількох (за необхідності) бригад, кожна з яких має бути оснащена наступним чином.

1. Автомобіль (ЛВМОК), придатний для перевезення: бригади у складі чотирьох-п'яти працівників, аварійного запасу кабелю, дизель-генератора, приладів та інструментів, необхідних для проведення вимірювань та ремонтно-відновлювальних робіт на магістральних та розподільчих ділянках мережі широкосмугового доступу за технологією FTTx.

2. Комплект інструментів для монтажу муфт ВОК та з'єднання оптичних волокон (ОВ):

- зварювальний апарат для зварювання ОВ лінійних кабелів зі стріпером та сколювачем – 1 комплект;
- апарат для механічного зрощування ОВ у домовій розподільчій муфті – 1 шт.;
- набір інструментів для монтажу муфт ВОК.

Приблизний перелік та комплектація інструментів для монтажу муфт ВОК та з'єднання ОВ наведені нижче.

3. Засоби вимірювальної техніки та прилади для тестування ОВ:

- рефлектометр (діапазони робочих довжин хвиль 1310 та 1550 нм (для FTTx PON потрібні також довжини хвиль 1490 нм та 1625 або 1650 нм) локатор видимого світла;
- комплект з двох оптичних тестерів (діапазони робочих довжин хвиль 1310 та 1550 нм);
- мікроскоп 400-кратне збільшення – 1 шт.;
- нетбук (або ноутбук) для обробки електронного наряду та внесення даних до системи обліку лінійно-кабельних споруд.

4. Допоміжні інструменти та пристрої:

- кабельний намет великого типу – 1 шт.;
- переносні столики для монтажу – 1 шт.;
- технічний фен для термоусадки муфт – 1 шт.;
- бензоелектроагрегат потужністю 3 кВт – 1 шт.;
- прожектор на стояку (300–500 Вт.) – 2 шт.;
- ліхтарі акумуляторні – 2 шт.;
- перфоратор + дріль з комплектом свердел та бурів – 1 шт.;

- мотопомпа (VP-20X), ЗІП для мотопомпи – 1 шт.
- комплект слюсарних інструментів (молоток, зубило, викрутки, плоскогубці, кусачки тощо) або набір інструментів для монтажника ВОЛС – 1 комплект;
- драбини-стрем'янки 3-х метрові – 2 шт.;
- ліхтарі налобні – 2 шт.;
- електричний подовжувачі 50 м – 2 шт.;
- портативний стрічковий принтер BMP21 для маркування ОК, ОВ тощо;
- контейнер для збирання відходів ОВ (за необхідності).

5. Спецодяг:

- чоботи гумові (типу «броди»);
- фартух клейонковий;

6. Витратні матеріали:

- механічні з'єднувачі – 20 шт.;
- розхідні матеріали (серветки кабельні, гільзи КДЗЗ тощо) – згідно нормативу;
- серветки для кабелю (ЗМ комплект 4415) – 10 шт.;
- серветки для волокна – 300 шт.;
- стрічки для очищення торців різноманітних з'єднувачів;
- рідина для очистки ОВ та торців різноманітних з'єднувачів;
- комплект для герметизації круглого вводу в муфти Райхем – 10 шт.;
- ремкомплект оболонки кабелю – 60/8 Райхем – 6шт.;
- тайчики (ремінці, стяжки) – 300 шт.;
- гофрорукав (внутрішній діаметр 32 мм) пластик – 25 м;
- пігтейли – (3-х метрові) – 6 шт.;
- патчкорди – (50–60 м) – 10 шт.;
- комплект кріпильних матеріалів та різноманітної арматури;
- антимоскітні засоби;
- ремонтний запас лінійних кабелів кожного маркорозміру (згідно нормативу);
- ремонтний запас кабелів міжповерхового прокладання – по 1 бухті кожного маркорозміру.

Перелік оснащення однієї бригади, котра обслуговує станційний та внутрішньо будинковий (абонентський) сегменти оптичної мережі доступу

Орієнтовно, бригада (за необхідності їх може бути кілька) має бути оснащена наступним чином.

1. Легковий автомобіль, придатний для перевезення двох фахівців, аварійного запасу абонентського кабелю, запасу поверхневих боксів та модулів абонентської розетки.

2. Комплект інструментів для монтажу муфт ОК, ВОК та з'єднання ОВ ВОК:

- апарат для механічного зрощування ОВ домашньої розподільчої мережі;
- монтажний інструмент для ручного встановлення оптичних конекторів;
- інструмент для надрізання оболонки кабелю міжповерхового прокладання;
- сколювач ОВ.

Приблизний перелік та комплектація інструментів для монтажу муфт ОК, ВОК та з'єднання ОВ ВОК наведений нижче.

3. Засоби вимірювальної техніки та прилади для тестування ОВ:

- мікроскоп 400-кратне збільшення – 1 шт.;
- локатор видимого світла – 2 шт.;
- нетбук (або ноутбук) для тестування послуги та обробки електронного наряду та внесення даних до системи обліку лінійно-кабельних споруд.

4. Допоміжні інструменти та пристрої:

- драбини-стрем'янки 3-х метрові – 2 шт.;
- перфоратор + дріль з комплектом свердел та бурів – 1 шт.;
- комплект слюсарних інструментів (молоток, зубило, викрутки, плоскогубці, кусачки тощо) або набір інструментів для монтажника ВОЛС – 1 комплект;
- електричні подовжувачі 50 м – 1 шт.;
- прожектор на стояку (300–500 Вт.) – 1 шт.;
- ліхтарі акумуляторні – 2 шт.;
- ліхтарі налобні – 2 шт.;
- комплект кріпильних матеріалів та різноманітної арматури;
- контейнер для збирання відходів ОВ (за необхідності);
- пилосос – 1 шт.

5. Спецодяг:

- куртка (комбінезон) з логотипом організації.

6. Витратні матеріали :

- механічні з'єднувачі – 50 шт.;

- розхідні матеріали (серветки кабельні, бахіли тощо) – згідно нормативу;
- серветки для волокна – 200 шт.;
- стрічки для очищення торців рознімних з'єднувачів;
- рідина для очистки ОВ та торців рознімних з'єднувачів;
- тайчики (ремінці, стяжки) – 300 шт.;
- бухта горизонтального кабелю абонентської розводки посиленої конструкції, 1 ОВ стандарту ITU-T G.657A;
- бухта захисної трубки для транспортування волокна;
- кріплення транзитник трубок (для кріплення абонентських ліній до стіни) – 600 шт.;
- гофрорукав (внутрішнім діаметром 32 мм), пластик – 100 м;
- поверхові розгалужувачі на 6 волокон (TE connectivity) – 20 шт.;
- фіксатор захисної трубки у відгалужувачі – 60 шт.;
- міні муфти для волокна (для з'єднання горизонтальних кабелів прокладання) (TE connectivity) – 20 шт.;
- абонентські розетки – 20 шт.;
- пігтейли – (LC, 3-х метрові) – 10 шт.;
- патчкорди – (LC-LC, 50–60м.) – 10 шт.;
- розетки LC – 10 шт.;
- пристрій для встановлення рознімних з'єднувачів на одноволоконний кабель – 1 шт.;
- конектори LC – 50 шт.

Приклади інструментів для з'єднання ОВ, монтажу ОВ, муфт ВОК та інших оптичних пристроїв

Зварювальний апарат Fujikura FSM-60S



В стандартний комплект входять:

- зварювальний апарат;
- мережевий адаптер, адаптер зарядного пристрою;
- шнур живлення;
- запасні електроди;
- USB кабель;
- приймальний лоток для термоусаджувальних КДЗЗ;
- керівництво користувача;

- прецизійний сколювач волокон СТ-30А;
- акумулятор підвищеної ємності;
- жорсткий кейс.

Інструмент для механічного з'єднання волокон RECORDsplice



Інструмент для механічного з'єднання волокон RECORDsplice RPI-TK100, в комплекті: корпус інструмента з інтегрованим сколювачем та механічною системою з'єднання волокон, валіза для

транспортування.

Комплект інструменту для ручної установки конекторів OptiSnap™



Комплект інструменту OptiSnap™ дозволяє виконати монтаж конектора OptiSnap™ приблизно за 45 с. Комплект TKT-OptiSnap-CF містить:

- монтажний інструмент OptiSnap з вбудованим комплектом для перевірки з'єднання (CTS);
- плоский сколювач з алмазним лезом та вбудованою ємністю для

залишків ОВ;

- ножиці електротехнічні 5 дюймів з надрізами;
- обтискувач інструмент;
- дротове пристосування для зачищення ОВ, 6 дюймів;
- інструмент зачищення ОВ Miller «з двома отворами» (для ОВ 900 мкм та 250 мкм);
- пластмасова ємність для відходів;
- незмивний маркер;
- прохідник кінцевика для конекторів SC та ST-сумісних 2,5 мм;

- прохідник кінцевика для конекторів LC 1,25 мм;
- палички для чистки кінцевика для конекторів SC та ST-сумісних 2,5 мм (упаковка 10 шт.);
- палички для чистки кінцевика для конекторів LC 1,25 мм (упаковка 10 шт.);
- пачка очищаючих серветок Corning;
- бутель з рідиною для очищення OB Corning;
- сумка для інструментів OptiSnap з вбудованою ємністю для відходів та фасонним вкладишем на піноматеріалі.

Комплект ТКТ-OptiSnap-CA містить:

- монтажний інструмент OptiSnap з вбудованим комплектом для перевірки з'єднання (CTS);
- кутовий сколювача з алмазним лезом та вбудованою ємністю для залишків OB;
- ножиці електротехнічні 5 дюймів з надрізами;
- обтискаючий інструмент;
- дротове пристосування для зачищення OB, 6 дюймів;
- інструмент зачищення OB Miller «з двома отворами» (для OB 900 мкм та 250 мкм);
- пластмасова ємність для відходів;
- незмивний маркер;
- прохідник кінцевика для конекторів SC та ST-сумісних 2,5 мм;
- прохідник кінцевика для конекторів LC 1,25 мм;
- палички для чистки кінцевика для конекторів SC та ST-сумісних 2,5 мм (упаковка 10 шт.);
- палички для чистки кінцевика для конекторів LC 1,25 мм (упаковка 10 шт.);
- пачка очищаючих серветок Corning;
- бутель з рідиною для очищення OB Corning;
- сумка для інструментів OptiSnap з вбудованою ємністю для відходів та фасонним вкладишем на піноматеріалі.

Набір інструментів 2559-С (зі сколювачем)



Універсальний набір інструментів 2559-С компанії 3М призначений для монтажу з'єднувачів Fibrlok з кутовим сколювачем.

Набір інструментів 2559-С містить:

- стрипер 250-900 мкм;
- ножиці для обрізки кевларових ниток;
- набір серветок (100 шт.);
- сколювач 250-900 мкм;
- ємність для спирту;
- стіл для монтажу з'єднувачів 2540G;
- стіл для монтажу з'єднувачів 2529;
- з'єднувач 2529 (250,900 мкм) – 5 шт.;
- з'єднувач 2540G (250 мкм) - 5 шт.;
- з'єднувач 2539 (250, 900 мкм) – 1 шт.;
- дві компактні сумки.

Універсальний набір інструментів 2565



Універсальний комплект інструменту 2569 призначений для монтажу ОВ як за допомогою оптичного з'єднувача Fibrlok так і механічного конектора NPC з кутовим сколом.

Набір 2565 містить:

- сколювач 250, 900 мкм;
- стрипер 250-900 мкм;
- ємність для спирту;
- ємність для залишків ОВ;
- ножиці для кевлару;
- пінцет;
- набір серветок;
- щітка;
- стіл для монтажу (для роботи на стрем'янці);
- стіл для монтажу РС конектора;
- стіл для монтажу з'єднувачів Fibrlok 2540G;
- конектор NPC – 5 шт.;
- з'єднувач 2540G – 5 шт.;

- КОМПАКТНА СУМКА.

Набори інструментів для монтажу ВОЛЗ

Набір інструментів SK-55 для монтажника ВОЛС



Набір інструментів SK-55 для монтажу ВОЛЗ містить високоякісний професійний інструмент, протестований на мережах одного з найбільших регіональних операторів Росії «Уралсвязьинформ». Інструмент підібраний з урахуванням специфіки пуско-налагоджувальних робіт з монтажу ВОЛЗ. Створення даного набору SK-55 - це результат спільної роботи досвідчених інсталяторів та

виробників високоякісного інструменту. Основними критеріями при формуванні складу набору стали: функціональність, надійність, зручність роботи і прийнятна ціна.

Склад набору:

- стрипер оптичний;
- пристрій для заготівлі каналі (ПЗК) з системою швидкої подачі прутка GreenLee (30 м × 3 мм);
- ніж сегментарний;
- лезо сегментарне, 10 шт.;
- пінцет;
- клейовий пістолет;
- мультиметр Greenlee 310;
- круглогубці, 200 мм;
- пасатижі універсальні, 150 мм;
- щуп для роботи на кросі;
- дозатор пластмасовий 225 г з помпою , для спирту;
- тестова трубка Compact DSP;
- молоток столярний;
- стрипер для зовнішньої оболонки;
- рулетка 5м;
- ліхтар;
- пристосування для очистки конекторів;

- інструмент для розшивки на крос;
- лезо "110";
- лезо "66";
- набір з 12-ти різноманітних інструментів у виконання VDE в металевому боксі;
- бокорізи, 145мм;
- степлер T18;
- комбіновані стрипер-боккорізи;
- ножівка по металу (полотно 150мм);
- викрутка-пробник;
- детектор скритих неоднорідностей;
- ножиці монтажні;
- засоби захисту очей, обличчя: окуляри; Обжимний інструмент R-11,12,45;
- сумка для інструменту KL900L.

Додаткові інструменти та прилади (замовляються окремо)

- дріль акумуляторний;
- діелектрична стрем'янка;
- перфоратор;
- набір бурів;
- подовжувач 220 В.

Набір інструментів для монтажу ВОК НИМ-25



Набір призначений для розробки та монтажу ВОЛЗ і містить необхідні інструменти від відомих виробників. Інструменти зручно розміщуються в спеціальних кишенях і відділеннях жорсткого кейса, що забезпечує надійне зберігання і швидкий доступ до них.

Комплектація набору НИМ-25:

- кабелеріз для сталевого проводу та тросів (діаметром до 6 мм);
- стрипер для оптичного кабелю (250 мкм);
- стрипер для оптичного кабелю (900 мкм);
- стрипер-прищепка для видалення фрагментів оптичного модуля;

- стрипер для кабелю діаметром. 4,5–29 мм;
- ножиці для різки кевлару;
- рідина для видалення гідрофобного заповнювача (1 л);
- дозатор для спирту пластмасовий з помпою (225 мл);
- серветки Kim-Wipers безворсові (280 шт);
- пінцет;
- набір луп (5 штук);
- пасатижі;
- бокорізи;
- набір викруток;
- ножівка по металу;
- ніж;
- леза для ножа;
- рулетка вимірювальна;
- ліхтар;
- батарейки;
- набір дротиків (125 мкм, 8 шт) для чистки адаптерів;
- маркувальні самоклеючі етикетки;
- герметизуюча стрічка;
- коробка для ЗПУ;
- жорсткий кейс.

Набір інструментів для ВОЛС SKFO-04



Склад набору SKFO-04:

- кабельножиці для троса;
- стрипер буферного шару;
- стрипер 0.81–2.59 мм;
- стрипер -прищепка для видалення фрагментів оптичного модуля;
- стрипер для зняття зовнішньої оболонки кабелю (діаметром 19–40мм);
- ножиці для різки кевлару;
- пінцет;
- пасатижі універсальні Stanley;
- бокорізи Stanley;
- набір викруток Stanley;

- ніж Stanley;
- рулетка Stanley;
- кишеньковий ліхтар;
- маркувальні самоклеїні етикетки;
- герметизуюча стрічка 88T (19 мм × 10,8 м);
- рідина для змивання гідрофобу;
- серветки безворсові (280 шт);
- набір проволокон для чистки адаптерів (8 шт);
- дозатор для спирту з помпою.

Набір інструментів UltimateFiber Tool



Склад набору:

- ножиці для різки кевлару;
- стрипер FiverOptic™ 5 в 1 (зовнішня ізоляція 2–2.4 мм, 2.8–3мм, 2–3мм, буферний шар 900/125 мкм та акрилове покриття 250/125 мкм);
- АМ 35 – стрипер для зняття зовнішньої оболонки кабелю (кабель: 25–35 мм);
- матриця Lucent SC & ST;
- матриця SMA/SMB/FC/Biconic;
- матриця SC & ST Type Die;
- крімпер;
- 2-х та 3-х рівневий стрипер LC CST Coax (Mini: .344/.094);
- спрощений стрипер (зовнішня ізоляція 2–3 мм, буферний шар 900/125 мкм та акрилове покриття 250/125 мкм);
- стрипер з регульованим гвинтом 0,26–2,59мм;
- сколювач;
- SC, ST, FC полірувальна шайба;
- LC полірувальна шайба;
- АМ 25 – стрипер для зняття зовнішньої оболонки кабелю (кабель: 4.5–25мм).

Набір основного інструменту для роботи з ОВ



з технічної тканини Cordura.

Склад набору:

- стрипер "1955" 0.8–4 мм (18–10AWG);
- стрипер буферного покриття;
- ножниці для різки кевлару.

Набір інструменту FiberReady



- матриця SMA/SMB/FC/Biconic;
- матриця SC & ST Type Die;
- кримпер;
- папка-сумка.

Набір основного інструменту виробництва Greenlee для зачистки жили оптоволоконного кабелю.

Дозволяє знімати зовнішню ізоляцію жили діаметром 0.8 – 4 мм, обрізати волокна захисного полімерного покриття та знімати буферне покриття з волокна діаметром 250–900 мкм.

Поставляється в зручній папці

Склад набору:

- ножиці для різки кевлару;
- стрипер FiverOptic™ 5 в 1 (зовнішня ізоляція 2–2.4мм, 2.8–3мм, 2–3мм, буферне покриття 900/125мкм и акрилове покриття 250/125 мкм);
- АМ 35 – стрипер для зняття зовнішньої оболонки кабелю (кабель: 25–35 мм);
- матриця Lucent SC & ST;

Базовий набір інструменту для ВОЛС FIS-F1-0053



Базовий набір інструментів FIS-F1-0053 - це старанно підібраний набір інструментів та матеріалів, необхідних при монтажі ОК.

Базовий набір можна доповнити інструментом для термінування конекторів або зварювання оптичного волокна.

Склад набору FIS-F1-0053:

- F1-0008 ізоляційна стрічка ПВХ;
- F1-6706 – рідина для підготовки оптоволокна (або балончик зі стисненим повітрям);
- WO-1224 – Miller – стрипер для зняття ізоляції;
- F1-7020C – FIS – пристрій для чистки оптичних конекторів;
- F1-KS1 – ножиці для різки кевлару;
- F1-0016 – стрипер для зняття 3 мм оболонки;
- F1-0017 – стрипер буферного слою;
- MK02 – ніж для повздовжнього розрізу оболонки круглого кабелю діаметром від 4,5 до 28,5 мм;
- ТНТ-2140С – кусачки бокові;
- F1-0005 2,5мм – набір паличок (50 шт.);
- 34-155 – безворсові серветки KimWipes;
- F1-0023BLK – ніж с висувним лезом;
- F1-0019 – пінцет;
- ТНТ-1840С – плоскогубці гостроносі;
- F1-8265К – набір дротиків для прочистки конекторів;
- F1-0027 – викрутка с 4 насадками;
- F1-9104 – маркер (чорний);
- WO-1067G – захисні окуляри;
- F1-1011 – серветки, просичені гідрофобним гелем (5 шт.);
- F1-0024 – підкладка для поліровки;
- F1-8328С – ємність для збору осколків волокна;
- RMC-6 – рулетка;
- F1-8273 – лінійка;
- 1UG30 – гайковий ключ;
- P50LABELKIT – маркувальні етикетки(3 шт.);
- F1-1002С – захисні гільзи (КД33) (5 шт.);

- F00FR3RO – фуркаційна трубка 3 мм;
- F00FR900HW – фуркаційна трубка 0,9 мм;
- F1-0053EY – чемодан.

Інструменти для монтажу ВОЛЗ

Стрипери

Стрипер Miller FO 103-T-250-J



Інструмент для зняття 250 мкм захисної оболонки з 125 мкм ОВ, а також оболонок щільного буфера 900 мкм та захисних оболонок 2 – 3 мм. Не дряпає та не надколює ОВ. Усі ріжучі поверхні точно калібровані.

Стрипер буферного шару JIC-125



Стрипер JIC-125 призначений для зачистки буферного шару (250 мкм) з оптичного волокна (125 мкм). Спеціальне виконання лез стрипера не допускає утворення подряпин або щербин при зачистці волокон.

Стрипер Miller FO 103-S 125 MICRON



Інструмент призначений для видалення буферного покриття діаметром 250 мікрон з оптичного волокна діаметром 125 мікрон. Отвір точного діаметру і v-образній виріз лез для якісного видалення буферного покриття. Інструмент не вимагає регулювання. Його параметри встановлені при виробництві. Якісне видалення буферного покриття, що не залишає подряпин або карбів на оптичному волокну. Для надійного і точного видалення буферного покриття всі ріжучі поверхні інструменту виконані з прецизійною точністю і піддані гартуванню, відпустці і ґрунтуванню. Довжина 136,53 мм. Маса: 71 г.

Оптический стрипер PT-1162

Стрипер призначений для зачистки різних слоїв оптичного кабелю.

Особливості:



- зачистка зовнішнього слою 2-3 мм;
- зачистка буферного слою 900 мкм;
- зачистка акрилового слою 250 мкм.

Стрипер ЛІС-375



Стрипер ЛІС-375 має 3 робочих поверхні різного діаметру, тим самим дозволяючи працювати практично з будь-яким оптоволоконним кабелем. Перший паз дозволяє зачистити захисне покриття з жили діаметром до 2-3 мм. Другий паз призначений для зняття буферного шару в 900 мкм. І третій паз дозволяє зачистити буферний шар в 250 мкм без задирів і подряпин.

В.1.6 Стрипер для оптичного кабелю Paladin Tools PT-1177 (3 в 1)



PT-1177 призначений для зняття зовнішньої оболонки діаметром 2,0 мм, а також зняття буферного слою 900 и 250 мкм.

В.1.7 Стрипер для оптичного кабелю Paladin Tools PT-1171 (5 в 1)



PT-1171 призначений для зняття зовнішньої оболонки діаметром 2,0-2,4 мм, 2,8-3,0 мм и 2,0-3,0 мм. Зняття буферного и акрилового покриття для волокна 900/125 мкм и 250/125 мкм.

Універсальний стрипер ЛІС-4366



Універсальний стрипер ЛІС-4366 здатний працювати з оптичними кабелями, що мають щільне ізоляційне покриття. Інструмент має два різні леза: одне дозволяє знімати зовнішню ізоляцію з кабельних жил діаметром 4.5 мм або 7,9 мм, інше призначене для зачистки ізоляційного шару з ПВХ. До інструменту додається запасне лезо кожного типу.

Стрипер для прокольного зняття оболонок оптичних модулів MSAT та MSAT-5.



Дозволяє отримати легкий доступ до оптичних волокон в трубках діаметром від 1,8 мм до 3,2 мм (модель MSAT) та від 1,9 до 3,0 мм (модель MSAT-5) без пошкодження волокна, є зручним інструментом для виконання монтажних робіт на окремому волокні з метою його відгалуження без пошкодження і подальшого зварювання транзитних волокон.

Вага моделі MSAT – 226,7 г, моделі MSAT-5 – 38,5 г.

Допоміжні додаткові інструменти.

Кусачки для різання силових ниток кабелю 86 1/2 SF



Модель 86 1/2SF – потужний ручний інструмент для різання, підрівнювання і відділення волокон і інших міцних матеріалів, що використовуються в промисловості і електроніці. Використовується для різання і підрівнювання: ізолюючих матеріалів дротів, мідних виводів, багатожильних проводів, а також нікелевої фольги. Цей інструмент використовується для підготовки арамідних волокон Dupont Kevlar®.

Для підвищення терміну служби інструменту, використана високовуглецева сталь гарячого кування. Діє швидка віддача пружини і має два гострі кінці. Інструмент оснащений як ріжучими лезами, одне з яких зазубрене. Протяжність різача: 16 мм. Довжина 165 мм, маса 136 г.

Ножниці для різки кевлару PT-1511



Призначені для різки кевларових та інших полімерних волокон. Зазубрені леза не дають матеріалу проскользувати при різанні.

Ножиці з керамічними лезами



Ножиці з посиленими рукоятками та керамічними лезами для обрізки кевларових та інших полімерних волокон. Не потребують заточування.

Кусачки для різання силових ниток кабелю KS-1



Легкі ножиці для різання силових кевларових елементів ВОК. Ергономічні литі ручки інструменту забезпечують зручне різання будь-якою рукою – правою або лівою. На одному з лез, нанесені дрібні зубці, які призначені для захвату і утримання кевларових волокон під час різання. Для підвищення терміну служби інструменту, леза виготовлені з високовуглецевої молібден-ванадієвої сталі. Ножиці KS-1 поставляються з чохлом. Довжина 140 мм, маса 79 г.

Дозатор спирту

Дозатор для спирту пластмасовий 250 мл з помпою.



Стисле повітря



Засіб для чистки конекторів.

Являє собою суміш негорючих газів, котрі діють як стиснене повітря.

Виконує суху чистку оптичних пристроїв. Виконуючи продувку за допомогою трубки-аплікатору, видаляє бруд та пил з важкодоступних для чищення місць оптичної пристроїв.

Об'єм 520 мл.

Інструмент для надрізання оболонки кабелю міжповерхового прокладання

Інструмент для надрізання оболонки кабелю міжповерхового прокладання MINI-BO-TOOL-A-1.



Портативний стрічковий принтер BMP21



Портативний стрічковий принтер BMP21 компанії Brady – оперативний інструмент для роботи бригад монтажу лінійно-кабельних споруд та абонентських ліній широкосмугового доступу на базі технології FTTH. Призначається для друку етикеток для маркування ОК, ОВ, муфт, боксів, панелей, патчкордів, оптичних рознімних з'єднувачів тощо.

Витратні матеріали

Очищувач рулонний CLN2-001

Пристосування для чистки торців оптичних конекторів, сухий метод не вимагає застосування спирту. Ресурс близько 500 операцій. Передбачена можливість заміни очищаючого картриджа.



ДОДАТОК В

Документальне оформлення проектування та будівництва

Правильно оформлені і документально підтверджені етапи будівництва лінійно-кабельних споруд значно спрощують подальшу експлуатацію ЛКС та різноманітні фінансові операції з ними. Отже цим питанням потрібно приділяти значну увагу.

Під комплектністю документацію розуміють:

комплектність проектної документації;

наявність документів, необхідних для початку будівництва;

комплектність виконавчої документації;

наявність документів, які дають змогу встановити відповідність закінченого будівництвом об'єкта договірним зобов'язанням, проектним рішенням, діючим будівельним нормам та законодавству України;

висновок про комплектність документації;

результат перевірки комплектності виконавчої документації та прийнятих, відповідно до законодавства України, рішень про введення закінченого будівництвом об'єкта в експлуатацію;

наявність в договорах визначеного обсягу робіт та технічних завдань, оцінки результатів, календарного плану виконання робіт, відповідальності сторін та погоджень зацікавлених служб організації замовника робіт та відповідності законодавству України.

Вимоги до комплектності документації при прийнятті ліній зв'язку в експлуатацію.

Вимоги до комплектності договірної частини

Договір на виконання проектних та (або) вишукувальних робіт повинен містити:

- посилання на вихідні дані для проектування (ТЗ, ТУ, АПЗ, тощо відповідно до ДБН А.2.2-3 та ДСТУ Б А.2.4-4, містобудівні умови та обмеження);
- залежно від складності об'єкта будівництва та мети замовника стадійність (ВР, РП, ЕП, тощо) виконання вишукувальних та проектних робіт відповідно до ДБН А.2.1-1, ДБН А.2.2-3 та ДСТУ Б А.2.4-4;

- реєстрацію юридичних служб організації замовника робіт, що засвідчує відповідність укладеного договору нормам законодавства України та вимогам організації замовника робіт.

Договір на виконання будівельно-монтажних робіт повинен містити:

- посилання на наявну затверджену проектну документацію;
- посилання на нормативні документи, в яких визначено граничні показники, та параметри, за якими визначатиметься якість виконаних будівельно-монтажних робіт, або безпосереднє їх наведення в договорі;
- положення правил надання в користування кабельної каналізації електрозв'язку;
- договірну ціну та розрахунок договірної ціни;
- реєстрацію юридичних служб організації замовника робіт, що засвідчує відповідність укладеного договору нормам законодавства України та вимогам організації замовника робіт.

Вимоги до комплектності проектної документації

Комплект проектної документації повинен:

- відповідати вихідним даним на проектування;
- відповідати вимогам ГБН В.2.2-33-2, ДБН А.2.1-1, ДБН А.2.2-3, ДБН А.2.2-1, ДБН Б.1.1-4, ДСТУ Б А.2.4-4, Закону України «Про спільне використання інфраструктури телекомунікаційних мереж» (проект) та інших діючих нормативних документів на виконання проектних робіт та законодавству України;
- містити погодження всіх зацікавлених організацій, до переліку яких входять представники замовника, державних органів влади, комунальних служб, власників підземних та наземних комунікацій, землевласників та землекористувачів (орієнтовний перелік наведений наприкінці додатку).

Вимоги до комплектності виконавчої документації

Комплект виконавчої документації повинен:

- бути виконаний відповідно до ДБН А.3.1-5, КНД-45-141, КНД-45-139, Р-45-010, Р-45-016. Орієнтовний перелік документів, форми яких наведено у зазначених вище нормативних актах (орієнтовний перелік наведений наприкінці додатку);
- мати висновок авторського та технічного нагляду щодо відповідності виконаних робіт вихідним даним, проектній документації, будівельним нормам та законодавству України;

-
- містити повну інформацію щодо обсягів виконаних робіт (АКТи та форми КБ-2в, КБ-3), витратних матеріалів (кабель, муфти тощо) та матеріалів, знятих з лінії. Наприклад витрати кабелю повинні бути підтверджені відомістю укладки, актами списання та актами передавання залишків експлуатуючій організації;
 - містити довідки про відсутність претензій землевласників та землекористувачів або їх представників, власників приміщень та клієнтів, які підключались до збудованої лінії.

Під час перевірки комплектності виконавчої документації необхідно перевірити правильність зроблених у ній розрахунків, висновків та відповідність наведених даних даним, закладеним у проекті чи проектній документації.

Остаточний висновок про визнання комплекту документації повним робиться після перевірки наявної документації на відповідність постанові КМУ від 13.04.2011 № 461 та Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності».

Орієнтовний перелік установ, організацій та осіб, які мають право надавати до проектних креслень та рішень свої технічні вимоги, та з якими необхідно узгодити проектні рішення та суми відшкодувань за можливі спричинені збитки:

Державні установи та органи влади:

- державні адміністрації або виконкоми рад (сільських, селищних, міських, районних, обласних);
- СЕС;
- управління архітектури (архітектори);
- автодор;
- служби Укрзалізниці;
- управління мостових переходів;
- управління водних ресурсів;
- лісгоспи;
- служби ДСНС.

Землевласники, домовласники:

- землевласники або землекористувачі усіх форм власності (приватна, колективна, землі громад, оборони тощо);
- власники приватних садиб, дачних ділянок;
- уповноважені власниками особи (УЖКГ, ЖЕК, ОСББ);
- клієнти (фізичні або юридичні особи, на замовлення і в приміщення яких прокладається лінія зв'язку).

Власники інфраструктури:

- управління та служби трубопроводів (газопроводи, аміакопроводи, нафтопроводи, водопроводи);
- управління та служби каналізаційних мереж і колекторів;
- управління та служби електричних мереж.

Залежно від складності та специфіки проекту, цей перелік може бути збільшений або зменшений за відсутності земляних робіт та проходження лінії в каналах ККЕ чи інших комунікаціях.

Вимоги, погодження та кошториси, висунуті організаціями з наведеного вище переліку, є невід'ємною частиною проектної документації.

Орієнтовний перелік документів, які повинна містити виконавча документація (залежно від складності та специфіки проекту кількість та перелік наведених документів може змінюватись):

- загальний журнал робіт та, при потребі, журнали з окремих видів робіт;
- титульний аркуш виконавчої документації;
- титульний аркуш монтажною документації;
- титульний аркуш робочої документації;
- паспорт траси;
- паспорти регенераційних ділянок;
- паспорти на змонтовані муфти;
- паспорт кабельного переходу через водну перешкоду;
- протоколи вхідного контролю ВОК;
- протоколи вхідного контролю пластикових труб;
- протоколи оптичних, електричних вимірювань;
- протокол особливих випадків при зрощенні оптичних волокон;
- протокол перевірки прохідності та герметичності трубопроводу;
- акт приймання-передавання матеріалів;

-
- акти на приховані роботи (укладання кабелю та захисних дротів, будівництва НРП (НПП), влаштування заземлення, будівництва каналів ККЕ, оглядових пристроїв, трубопроводів, облаштування кабельних переходів тощо);
 - акт засвідчення підводно-технічних робіт, виконаних на кабельному переході;
 - акти змонтованого обладнання;
 - акти на списання матеріалів;
 - акти виконаних робіт (форма КБ-2в);
 - довідка про вартість виконаних будівельних робіт та витрати (форма КБ-3);
 - відомості укладання будівельних довжин кабелю;
 - відомості укладання труб кабельного трубопроводу;

Повний комплект документації на закінчений будівництвом об'єкт має включати також:

- декларацію про готовність об'єкта до експлуатації;
- заяву про прийняття в експлуатацію закінченого будівництвом об'єкта та видачу сертифіката;
- акт готовності об'єкта до експлуатації;
- сертифікат.

ДОДАТОК Г

Таблиці та графіки переводів фізичних величин

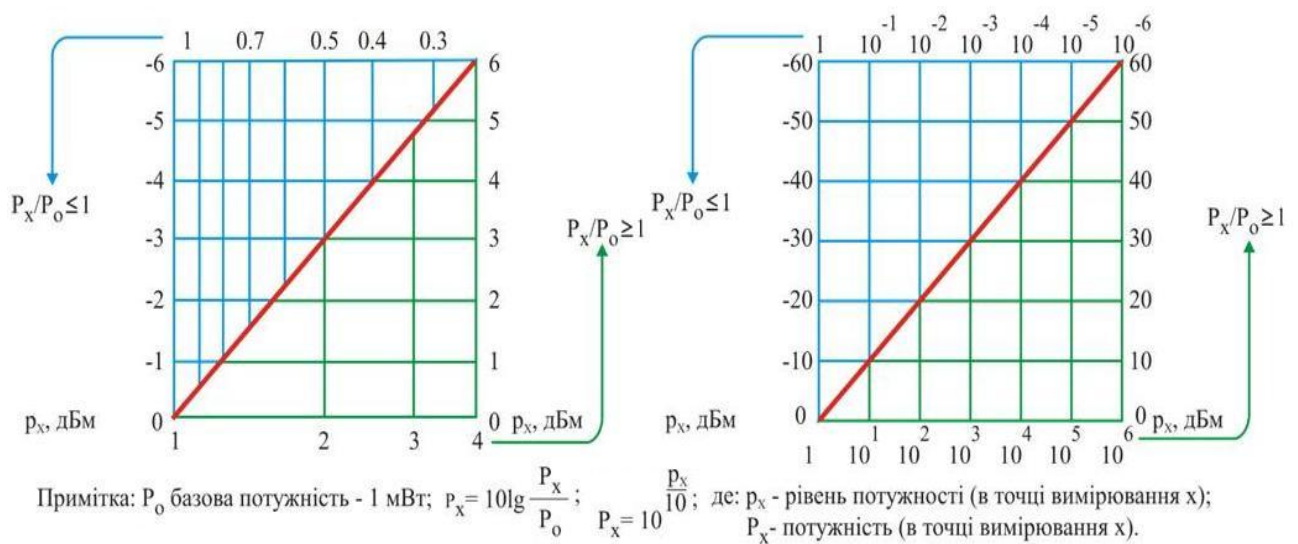
Таблиця Д.1 — Рівні потужностей p відносно 1 мВт, дБм

Відношення потужностей, %	дБм	Відношення потужностей, %	дБм
1	20,00	35	4,56
2	16,99	40	3,98
3	15,23	45	3,47
4	13,98	50	3,01
5	13,01	55	2,60
6	12,22	60	2,22
7	11,55	65	1,87
8	10,97	70	1,55
9	10,46	75	1,25
10	10,00	80	0,97
15	8,24	85	0,71
20	6,99	90	0,46
25	6,02	95	0,22
30	5,23	100	0,00

Таблиця Д.2 — Рівні потужностей p , дБм

Р, дБм	Р, мВт	Р, дБм	Р, мВт	Р, дБм	Р, мВт
-60	0,000001(1нВт)	-4	0,398(398мкВт)	19	79,4
-50	0,00001(10нВт)	-3	0,501(501мкВт)	20	100
-45	0,00003(30нВт)	-2	0,631(631мкВт)	21	126
-40	0,0001(100нВт)	-1	0,794(794мкВт)	22	158
-35	0,0003(300нВт)	0	1,00	23	200
-30	0,001(1мкВт)	1	1,26	24	251
-25	0,0032(3,2мкВт)	2	1,58	25	316
-20	0,010(10мкВт)	3	2,00	26	398
-19	0,013(13мкВт)	4	2,51	27	501
-18	0,016(16мкВт)	5	3,16	28	631
-17	0,020(20мкВт)	6	3,98	29	794
-16	0,025(25мкВт)	7	5,01	30	1 000(1Вт)
-15	0,032(32мкВт)	8	6,31	31	1 259(1,259Вт)
-14	0,040(40мкВт)	9	7,94	32	1 585(1,585Вт)
-13	0,050(50мкВт)	10	10,0	33	1 995(1,995Вт)
-12	0,063(63мкВт)	11	12,6	34	2 512(2,512Вт)
-11	0,079(79мкВт)	12	15,8	35	3 162(3,162Вт)
-10	0,100(100мкВт)	13	20,0	36	3 981(3,981Вт)
-9	0,126(126мкВт)	14	25,1	37	5 012(5,012Вт)
-8	0,158(158мкВт)	15	31,6	38	6 310(6,31Вт)
-7	0,200(200мкВт)	16	39,8	39	7 943(7,943Вт)
-6	0,251(251мкВт)	17	50,1	40	10 000(10Вт)
-5	0,316(316мкВт)	18	63,1		

Графіки перерахунку потужностей (P) в рівні потужностей (p) та навпаки



Таблиця Д.3 — Довжина

Одиниця виміру	Метр	Дюйм	Фут	Ярд	Кілометр	Миля
1 м	1	39,9701	3,2808	1,0936	0,0001	
1 дюйм (in)	0,0254	1	0,0833	0,0278		
1 фут (ft)	0,3048	12	1	0,3333		
1 ярд (yd)	0,9144	36	3	1		
1 км	1000				1	0,6214
1 миля (mile)	1600				1,6093	1

Таблиця Д.4 — Площа

Одиниця виміру	Квадратний метр	Квадратний дюйм	Квадратний фут
1 м ²	1	1550,0	10,7639
1 кв. дюйм (in ²)	0,6452·10 ⁻³	1	9,9444·10 ⁻³
1 кв. фут (ft ²)	0,0929	144	1

Таблиця Д.5 — Об'єм

Одиниця виміру	Кубічний дециметр або літр	Кубічний дюйм	Американський галон
1 дм ³ = 1 л	1	61,0237	0,2642
1 куб. дюйм (in ³)	0,0164	1	4,3290·10 ⁻³
1 ам. галон (US gal)	3,7854	230,999	1

Таблиця Д.6 — Швидкість

Одиниця виміру	Метр за секунду	Кілометр за годину	Миля за годину	Фут за секунду
1 м/с	1	3,6	2,2369	3,2808
1 км/г	0,2778	1	0,6214	0,9113
1 миля/г (mile/h)	0,4470	1,6093	1	1,4667
1 фут/с (ft/s)	0,3048	1,0973	0,6818	1

Таблиця Д.7 — Маса

Одиниця виміру	Кілограм	Фунт	Унція
1 кг	1	2,2046	35,274
1 фунт (lb)	0,4536	1	16
1 унція (oz)	28,3495·10 ⁻³	0,0625	1

Таблиця Д.8 — Маса на довжину

Одиниця виміру	Кілограм на кілометр	Текс	Деньє	Фунт на 1000 футів
1 кг/км	1	10^3	$9 \cdot 10^{-3}$	0,671969
1 текс (tex)	10^{-3}	1	9	$0,6720 \cdot 10^{-3}$
1 деньє (den)	$0,1111 \cdot 10^{-3}$	0,1111	1	$74,6631 \cdot 10^{-6}$
1 фунт/кілофут (lb/kft)	1,488164	1488,164	13393,48	1

Таблиця Д.9 — Тиск

Одиниця виміру	Ньютон на квадратний міліметр	Фунт-сили на квадратний дюйм
1 Н/мм ² = 1 МПа (MPa)	1	145,038
1 фунт-сила/кв.дюйм (lbf/in ²) = 1 psi	$6,8948 \cdot 10^{-3}$	1
Інші одиниці: 1 Па = 1 Н/м ² = 10^{-6} Н/мм ² = 10^{-5} бар		

Таблиця Д.10 — Сила

Одиниця виміру	Ньютон	Кілограм-сила	Фут-сила
1 Н (N)	1	0,101972	0,22481
1 кгс	9,80665	1	2,20462
1 фунт-сила (lbf)	4,44822	0,45362	1

Таблиця Д.11 — Потужність

Одиниця виміру	Ват	Кілокалорія за годину	Британська тепла одиниця за годину
1 Вт (W)	1	0,8598	3,4121
1 ккал/г (kcal/h)	1,163	1	3,9683
1 бр.тпл.од./г (Btu/h)	0,2931	0,2520	1

Таблиця Д.12 — Робота, енергія

Одиниця виміру	Кілоджоуль	Кілокалорія	Британська тепла одиниця
1 кДж (W)	1	0,2388	0,9478
1 ккал (kcal)	4,1868	1	3,9683
1 бр.тпл.од. (Btu)	1,0551	0,2520	1

Таблиця Д.13 — Температура

Одиниця виміру	Кельвін	Цельсій	Фаренгейт
Кельвін (°K)	С	С + 273	(F + 459) / 1,8
Цельсій (°C)	К - 273	К	(F - 32) / 1,8
Фаренгейт (°F)	К · 1,8 - 459	С · 1,8 + 32	F

ДОДАТОК Д

Деякі методи цифрового кодування

NRZ – Non Return to Zero (без повернення до нуля)

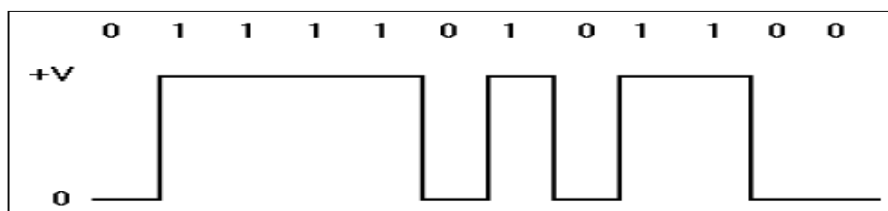
В такому варіанті кодування використовується наступне представлення бітів:

Біти “0” передаються нульовою напругою (0 В). Біти «1» передаються напругою +V.

Цей метод кодування є найбільш простим і є базовим для побудови більш досконалих алгоритмів кодування.

Кодуванню за методом NRZ притаманний цілий ряд недоліків (високий рівень постійної напруги, широкий спектр сигналу та інші.)

Загальний вид двійкового ряду, представленого в коді NRZ, показано на рисунку:



RZ – Return to Zero (повернення до нуля)

В такому варіанті кодування використовується наступне представлення бітів:

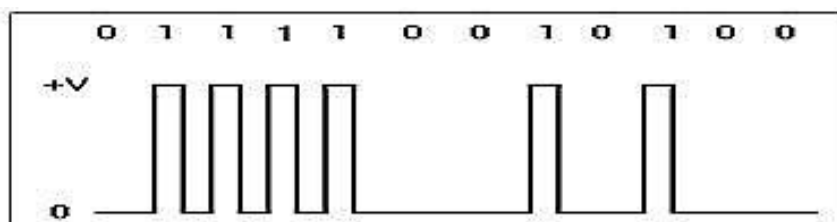
Біти “0” передаються нульовою напругою (0 В). Біти «1» передаються напругою +V в першій частині та нульовою напругою у другій частині часового інтервалу.

Порівняно з попереднім методом цей метод має переваги:

- середня напруга в лінії є вдвічі меншою
- за умови передачі безперервної послідовності «1» сигнал в лінії не залишається постійним.

Однак ширина спектра сигналу є більшою ніж у NRZ

Загальний вид двійкового ряду, представленого в коді RZ, показано на рисунку:



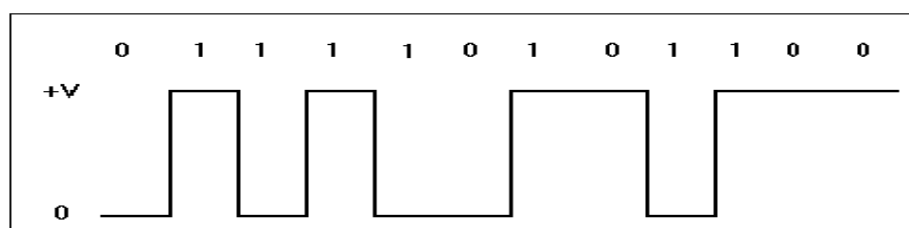
NRZI – Non Return to Zero Invertive (інверсне кодування без повернення до нуля)

Цей метод кодування використовує наступне представлення бітів:

Біти “0” передаються нульовою напругою (0 В). Біти «1» передаються нульовою напругою (0 В) або напругою +V в залежності від того, яка напруга була в попереднього біта. Якщо напруга попереднього біта була (0 В), то одиниця буде представлена напругою +V, якщо напруга попереднього біта була +V, то одиниця буде представлена напругою (0 В).

Перевага цього коду полягатиме в тому, що ширина спектру сигналу буде як у NRZ, а за умови передачі безперервної послідовності «1» сигнал в лінії не залишається постійним.

Загальний вид двійкового ряду, представленого в коді NRZI, показано на рисунку:



Манчестерське кодування:

В манчестерському коді кожен часовий інтервал впродовж котрого передається один біт інформації ділиться на дві рівні половини. Біт сигналу “1” кодується напругою “+V” в першій половині та “– V” у другій. Біт сигналу “0” кодується навпаки напругою “–V” в першій половині та “+V” у другій.

Зміна полярності напруги в середині інтервалу забезпечує добру самосинхронізацію.

Різновидом манчестерського кодування є диференційне манчестерське кодування, при цьому коли передається біт сигналу “1” зміна полярності напруги не відбувається (напруги на в обох половинах інтервалу імпульсу рівні).

Якщо відбувається зміна полярності напруги значить передається біт сигналу “0”.

Недоліком манчестерського кодування є подвоєна (порівняно з бінарним кодуванням) смуга передавання. В стандарті IEEE 802.3 використовується манчестерське кодування, рівні напруги “–V” та “+V” дорівнюють +0.85 В та мінус 0.85 В відповідно.

Манчестерське кодування використовується в мережах Ethernet стандарту IEEE 802.3 як правило для інтерфейсів 10 Мбіт/с (10Base 5, 10Base 2, 10Base-T).

У середньому ширина спектра при манчестерському кодуванні в два рази ширше ніж при NRZ кодуванні

MLT-3 (Multi Level Transmission-3) трирівневе кодування із скремблюванням без самосинхронізації

Використовує три рівні (“+V”; 0; “-V”) постійні в продовж кожного бітового інтервалу. При передаванні біта “0” значення не змінюється, при передаванні біта “1” значення послідовно змінюється на сусіднє “+V”, 0, “-V”, 0, “+V” і т. д.

По суті метод є більш ускладненим варіантом NRZI. Завдяки почерговості трьох рівнів звужується потрібна смуга частот.

Використовується як правило в FDDI, та для інтерфейсів 100BaseTX.

PAM 5 (Pulse Amplitude Modulation) (Імпульсна амплітудна модуляція)

П’ятирівневе біполярне кодування, за котрого два біти (в залежності від попереднього стану) передаються одним з п’яти рівнів “V”.

4B/5B

Кожні чотири біти інформації (сигнали MAC підрівня) кодуються п’ятибітовим словом. Внаслідок цього отримується двохкратна надлишковість ($2^4=16$ вхідних комбінацій представлені набором з $2^5=32$ комбінацій).

Надлишковість коду дозволяє виокремити ряд службових символів, що використовуються для синхронізації, виокремлення службових полів кадру та інших цілей на фізичному рівні.

8B/10B

8 біт інформації (сигнали MAC підрівня) кодуються 10-бітним кодовим словом. При цьому досягається чотирьохкратна надлишковість.



Каток Віктор Борисович, директор департаменту науково-технічної політики ПАТ «Укртелеком», віце-голова 15 дослідної комісії ІТУ-Т, Лауреат Державної премії України. Автор понад 300 наукових праць, в тому числі 7 монографій з галузі телекомунікації.



Руденко Ігор Едуардович, заступник начальника науково-технічного відділу департаменту науково-технічної політики ПАТ «Укртелеком». Автор понад 85 наукових праць, в тому числі 3 монографій з галузі телекомунікації.



Однорог Петро Миколайович, головний фахівець технічної дирекції ПАТ «Укртелеком».