

О. В. Онищук, О. С. Городецька, О. С. Стець

**Напрямні системи електричного
та оптичного зв'язку**

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

О. В. Онищук, О. С. Городецька, О. С. Стець

**Напрявні системи електричного
та оптичного зв'язку**

Лабораторний практикум

Вінниця
ВНТУ
2016

УДК [621.39+681.7.068](075)
ББК [32.88+32.886]я73
О-58

Рекомендовано до друку Вченою радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 25.02.2016 р.)

Рецензенти:

Л. Н. Беркман, доктор технічних наук, професор

С. М. Злепко, доктор технічних наук, професор

В. А. Лужецький, доктор технічних наук, професор

Онищук, О. В.

О-58 Напрямні системи електричного та оптичного зв'язку : лабораторний практикум / Онищук О. В., Городецька О. С., Стець О. С. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 84 с.

У лабораторному практикумі розкриваються основи побудови і функціонування волоконно-оптичних ліній зв'язку. Завдання до лабораторних робіт охоплюють принципи побудови оптичних ліній зв'язку та монтажу її основних конструктивних елементів (оптичних муфт, кінцевих оптичних панелей, контрольно-вимірювальних пристроїв, заземлення тощо); вимірювання оптичних та електричних параметрів ліній, дослідження втрат у роз'ємних та нероз'ємних з'єднаннях ліній, методи та засоби захисту від негативних впливів. Лабораторний практикум відповідає програмам дисципліни «Напрямні системи електричного та оптичного зв'язку».

УДК [621.39+681.7.068](075)
ББК [32.88+32.886]я73

© О. Онищук, О. Городецька, О. Стець, 2016

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ.....	5
Лабораторна робота № 1. Вивчення конструктивних елементів волоконно-оптичної лінії зв'язку	7
Лабораторна робота № 2. Вимірювання оптичних параметрів волоконно-оптичної лінії зв'язку за допомогою рефлектометра.....	23
Лабораторна робота № 3. Дослідження зварних з'єднань волоконно-оптичних ліній зв'язку.....	41
Лабораторна робота № 4. Дослідження роз'ємних з'єднань волоконно-оптичних ліній зв'язку.....	50
Лабораторна робота № 5. Вимірювання електричних параметрів во- локонно-оптичної лінії зв'язку.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	72
Додаток А. Маркування оптичних кабелів ЗАТ «Завод «Одескабель».....	74
Додаток Б. Маркування оптичних кабелів ЗАТ «Завод «Південь-кабель».....	76
Додаток В. Характеристики одномодових оптичних волокон.....	78
Додаток Д. Характеристики багатомодових оптичних волокон.....	82

ВСТУП

Напрямні системи оптичного зв'язку є невід'ємною складовою сучасних телекомунікаційних мереж та систем. Оптичні волокна, які використовуються в таких системах, забезпечують високу швидкість передачі інформації на значні відстані. У всьому світі оператори та провайдери телекомунікаційних послуг широко впроваджують кабельні напрямні системи на основі оптичних волокон.

В Україні активно проводяться роботи із будівництва волоконно-оптичних ліній зв'язку вздовж газопроводів, нафтопроводів, залізниць тощо. Використання оптичних напрямних систем операторами мобільного зв'язку дало можливість перейти до третього покоління технологій мобільного зв'язку 3G. Використання оптичних кабелів та систем спектрально-го ущільнення забезпечує високошвидкісну передачу інформації від десятків до сотень гігабіт за секунду. Провайдери телекомунікаційних послуг кабельного інтернету та телебачення використовують оптичні напрямні системи у мережах доступу абонентів (FTTx). Таким чином, оптичні напрямні системи відкривають широкі можливості та великі перспективи впровадження та розвитку сучасних інформаційних технологій. Це зумовлює актуальність даної тематики та зацікавленість студентів до вивчення сучасних оптичних напрямних систем.

Запропонований лабораторний практикум спрямований на освоєння конструктивних особливостей і характеристик оптичних волокон та кабелів, галузі їх застосування, а також методів та засобів монтажу і вимірювання їх параметрів. Для виконання лабораторних робіт використовується стенд волоконно-оптичної лінії зв'язку, який складається із оптичних кабелів, муфт, кінцевих оптичних комутаційних панелей або кросів, а також пристроїв захисту лінії від негативних впливів. Усі лабораторні роботи виконуються з допомогою сучасних монтажних та вимірювальних приладів.

Одним із основних критеріїв якості сучасних напрямних систем оптичного зв'язку є втрати оптичної потужності у цих системах. У лабораторних роботах досліджуються втрати у зварних та роз'ємних з'єднаннях. Зварювання оптичних волокон виконується з допомогою зварювального апарата, який також дозволяє оцінювати параметри зварного з'єднання. Окремо досліджуються втрати у найбільш поширених зразках роз'ємних з'єднань з різними видами полірування.

Надзвичайно важливим етапом будівництва та експлуатації оптичних ліній є діагностування їх параметрів з допомогою спеціальних вимірювальних приладів. Для цього у лабораторних роботах досліджується імпульсний оптичний рефлектометр, надається ґрунтовна інтерпретація результатів вимірювання та рефлектограм. Вимірювання електричних параметрів виконується з допомогою переносних кабельних приладів, які дозволяють контролювати пристрої та елементи захисту лінії від зовнішніх негативних впливів.

ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Лабораторна робота є видом навчального заняття, на якому студенти під керівництвом викладача проводять натурні або імітаційні експерименти чи досліди в спеціально обладнаних навчальних лабораторіях з використанням устаткування, пристосованого до умов навчального процесу. Метою лабораторного заняття є практичне підтвердження окремих теоретичних положень даної навчальної дисципліни, набуття практичних умінь та навичок роботи з лабораторним обладнанням, обчислювальною технікою та вимірювальною апаратурою.

Виконання лабораторних робіт у обсязі, передбаченому навчальним планом, є обов'язковим. Студенти, які не виконали лабораторні роботи відповідно до програми і робочого плану дисципліни, до іспиту не допускаються.

Лабораторні роботи виконуються за фронтальним принципом – усі студенти виконують одну і ту ж лабораторну роботу за розкладом і під керівництвом викладача. При цьому для лабораторних робіт, які передбачають варіативність початкових даних, кожна бригада виконує індивідуальне завдання.

У випадку пропуску лабораторних занять студент зобов'язаний відпрацювати пропущене заняття за кафедральним графіком відпрацювання пропущених занять.

При підготовці до лабораторних занять студент повинен засвоїти лекційний матеріал та проглянути літературу з відповідних питань, уважно прочитати методичні вказівки до конкретної лабораторної роботи, вияснити послідовність її виконання і вимоги до оформлення кінцевих результатів, підготувати відповіді на контрольні запитання.

Під час виконання роботи студент зобов'язаний неухильно дотримуватись правил техніки безпеки. До самостійної роботи із приладами та стендом волоконно-оптичної лінії зв'язку допускаються студенти після проходження інструктажу з охорони праці. Вимірювання оптичних параметрів виконується приладами, які здійснюють лазерне випромінювання, невидиме для людського зору. Тому всі вимірювання необхідно виконувати під контролем викладача. Під час вимірювання електричних параметрів волоконно-оптичної лінії зв'язку виникає небезпека ураження електричним струмом. Перед увімкненням приладу в мережу живлення необхідно захистити заземлення під'єднати до клеми «земля» на лицьовій панелі приладу. Під час вимірювання забороняється доторкатися до струмопровідних елементів приладу і кабельної лінії. Під час проведення вимірювання опору ізоляції необхідно дотримуватися вимог безпеки, викладених у «Правилах технічної експлуатації електроустановок споживачів і правилах техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів». При виявленні будь-яких несправностей вимірювальних чи монтажних приладів під час

роботи студенту необхідно доповісти викладачу. Забороняється переміщати і переносити блоки, обладнання, яке знаходиться під напругою, самостійно розбирати чи проводити ремонт лабораторного обладнання, стенда тощо. Під час роботи студент повинен бути уважним, не займатися сторонніми справами, не заважати іншим працюючим, сконцентрувати увагу на виконанні плану роботи та отриманих результатах.

Документування результатів роботи здійснюється у формі звіту, де вказується мета та порядок виконання роботи, наводяться схеми досліджуваних мереж чи комунікаційного обладнання, аналізуються одержані результати, формулюються аргументовані висновки.

Виконана і належним чином оформлена лабораторна робота захищається шляхом співбесіди з викладачем. На захисті студент має продемонструвати ґрунтовні знання з теорії, уміння застосовувати теорію на практиці. Захист виконаної лабораторної роботи здійснюється, як правило, під час виконання наступної роботи або за графіком консультацій. Результати захисту відображаються в журналі викладача. Звіти про виконання лабораторних робіт зберігаються і всі повинні бути наявними до початку іспиту.

Лабораторна робота № 1

Вивчення конструктивних елементів волоконно-оптичної лінії зв'язку

Мета: ознайомитись з основними конструктивними елементами та принципом роботи волоконно-оптичної лінії зв'язку, розглянути основи теорії волоконної оптики, конструкції та параметри оптичних кабелів, муфт та кінцевих комутаційних пристроїв.

Теоретичні відомості

Основними конструктивними елементами волоконно-оптичної лінії зв'язку (ВОЛЗ), яка наведена на рис. 1, є: кабель із оптичними волокнами, по яких здійснюється передача інформаційних сигналів, муфти для з'єднання будівельних довжин кабелів та влаштування розгалужень телекомунікаційної мережі, кінцеві оптичні комутаційні панелі або кроси, з допомогою яких можна безперешкодно під'єднувати апаратуру до лінії, а також різноманітні пристрої захисту лінії від негативних впливів.



Рисунок 1 – Волоконно-оптична лінія зв'язку: 1 – оптичний кабель; 2 – оптична муфта; 3 – оптична комутаційна панель; 4 – засоби захисту лінії від негативних впливів

Оптичні волокна

Найголовнішим елементом ВОЛЗ є оптичне волокно (ОВ), яке виконує функції напрямної системи для передачі оптичного сигналу у лінії зав'язку. ОВ є діелектричним хвилеводом, що складається з циліндричної серцевини, у якій поширюється оптичний сигнал, та зовнішньої оболонки,

яка виконує функцію внутрішнього дзеркала та утримує сигнал в межах серцевини по всій довжині оптичного волокна (рис. 2) [1]. Згідно з променевою теорією, поширення оптичного сигналу у серцевині оптичного волокна відбувається завдяки ефекту повного внутрішнього відбиття оптичного сигналу від межі поділу середовищ серцевина/оболонка, які відрізняються показниками заломлення [2].

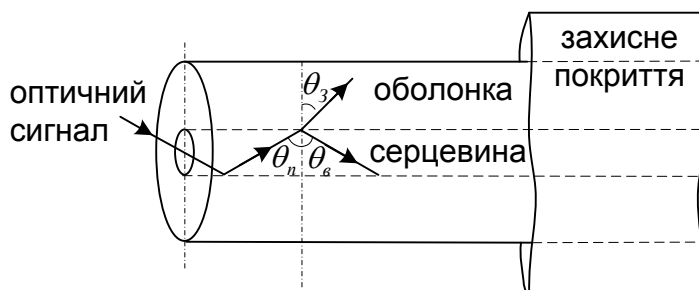


Рисунок 2 – Структура оптичного волокна

У оптичному волокні показник заломлення серцевини n_1 більший від показника заломлення оболонки n_2 . Залежно від кута падіння θ_{II} оптичного променя на межу поділу середовищ серцевина/оболонка частина оптичного випромінювання відбивається під кутом відбиття θ_B і повертається у серцевину, інша частина заломлюється під кутом θ_3 на межу поділу і розсіюється у оболонці (рис. 2). Сигнал, який проник в оболонку ОВ, загасає експоненційно. Згідно із законом Снеліуса між кутом падіння та кутом відбиття існує така залежність [1, 2]:

$$n_1 \sin(\theta_{II}) = n_2 \sin(\theta_B), \quad (1)$$

де n_1, n_2 – показник заломлення серцевини та оболонки, відповідно;
 θ_{II}, θ_B – кут падіння та відбиття, відповідно.

Якщо оптичне випромінювання спрямувати на торець волокна, то промені будуть входити в нього під різними кутами відносно до оптичної осі. Частина цих променів, що надходять під великим кутом, будуть одразу виходити з серцевини і загасати у оболонці. Решта променів, які надходять під меншим кутом, будуть поширюватись по всій довжині оптичного волокна завдяки ефекту повного внутрішнього відбиття. Таким чином, існує деякий тілесний кут θ_{max} , при якому оптичні промені, що знаходяться в його межах, будуть поширюватись по всій довжині оптичного волокна. Значенню цього кута відповідає величина, яка називається номінальною або ефективною числовою апертурою [2, 3]:

$$NA = n_0 \sin \theta_{max}, \quad (2)$$

де n_0 – показник заломлення навколишнього середовища.

Крім ефективної числової апертури, існує розрахункова числова апертура – безрозмірна величина, яка визначається виразом: $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$. Величина числової апертури змінюється в межах від 0,1 до 0,5 залежно від діаметра волокна (меншому діаметру відповідає менша величина числової апертури).

У розглянутому вище прикладі оптичний сигнал у серцевині поширюється прямолінійно, і на межі поділу середовищ серцевина–оболонка, змінивши свій напрямок, знову поширюється прямолінійно (див. рис. 2). Це реалізується завдяки тому, що розподіл значень показника заломлення n_1 серцевини залишається незмінним вздовж діаметра її поперечного перерізу, а на межі поділу середовищ серцевина–оболонка різка зміна показників заломлення має вигляд сходинки. Такі оптичні волокна називаються волокнами зі ступінчастим профілем показника заломлення. Відповідна характеристика розподілу значень показників заломлення вздовж діаметра поперечного перерізу оптичного волокна наведена на рис. 3 [1, 2].

Існують оптичні волокна, у яких значення показника заломлення n_1 плавно зменшується від центра серцевини до її периферії. Це приводить до того, що оптичний сигнал у серцевині поширюється не прямолінійно, а криволінійно по дузі (рис. 4). Такі оптичні волокна називаються оптичними волокнами з градієнтним профілем показника заломлення [1, 3]. На їхній характеристиці розподіл показників заломлення вздовж діаметра серцевини має вигляд параболи, а на межі поділу середовищ серцевини та оболонки відсутня різка зміна показників заломлення, як у ступінчастих.

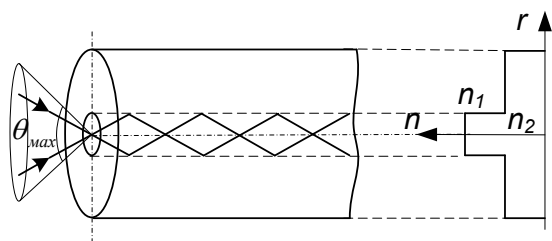


Рисунок 3 – Оптичне волокно із ступінчастим профілем показника заломлення

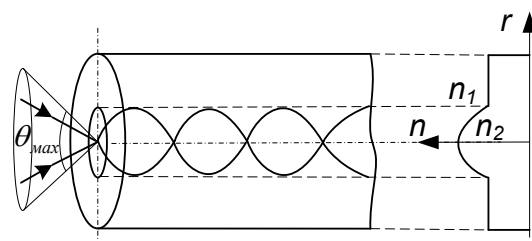


Рисунок 4 – Оптичне волокно із градієнтним профілем показника заломлення

Довжину хвилі оптичного випромінювання λ , показники заломлення серцевини n_1 та оболонки n_2 , а також геометричні розміри ОВ об'єднує хвильовий параметр V , який також називається нормованою робочою частотою або частотою відсічки, що розраховується за формулою [2, 4]:

$$V = \pi d \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / \lambda, \quad (3)$$

де d – діаметр серцевини волокна.

Згідно з теорією електродинаміки оптичне випромінювання або оптичний сигнал можна подати у вигляді електромагнітної хвилі (коливання), яка є сумою електромагнітних складових: електричної (вектор напруженості електричного поля E) та магнітної (вектор напруженості магнітного поля H). Різні комбінації цих векторів являють собою типи хвиль, що називаються модами.

Хвильовий параметр визначає кількість груп мод, які можуть поширюватись у ОВ, або режим роботи ОВ. Наприклад, при $V < 2,4048$ в ОВ буде поширюватись тільки одна мода HE₁₁, тобто має місце одномодовий режим. Із збільшенням V з'являються моди вищого порядку, а ОВ переходить у багатомодовий режим роботи. При цьому мінімальна довжина хвилі, при якій ОВ підтримує тільки одну моду, називається довжиною хвилі відсічки λ_{CF} , значення якої визначається за формулою [1, 5]:

$$\lambda_{CF} = 2\pi \frac{NA}{2,405}. \quad (4)$$

Розрізняють волоконну λ_{CF} та кабельну λ_{CCF} довжину хвилі відсічки. З практичної точки зору кабельна довжина хвилі відсічки становить більший інтерес. Це пов'язано з тим, що оптичні волокна розміщуються у кабелі, який під час прокладання багаторазово згинається та натягується. Все це призводить до пригнічення побічних мод і зміщення кабельної довжини відсічки у сторону коротких хвиль порівняно з волоконною довжиною відсічки. На відміну від волоконної, кабельну довжину хвилі відсічки можна визначити тільки експериментальним шляхом. Значення кабельної довжини хвилі відсічки обов'язково вказується у паспортній документації на волоконно-оптичний кабель (додаток А, Б).

Таким чином, кількість мод, що можуть поширюватись у ОВ, обмежена і залежить від діаметра серцевини d та довжини хвилі оптичного випромінювання λ . Із збільшенням діаметра та зменшенням довжини хвилі кількість мод різко збільшується. Залежно від кількості мод, які можуть поширюватись у ОВ, розрізняють одномодові та багатомодові оптичні волокна [2, 3, 4].

В одномодових ОВ діаметр серцевини та довжина хвилі сумірні ($d \approx \lambda$), тому по одномодовому волокну може поширюватись лише один тип хвиль HE₁₁ – фундаментальна мода найнижчого порядку, яка поширюється у всіх ОВ і переносить основну частину енергії оптичного сигналу. Діаметр серцевини одномодових волокон становить 6–8 мкм, а оболонки – 125 мкм. Оптичні параметри одномодового ОВ оптимізовані на робочих довжинах хвиль 1310 або 1550 нм. У додатку В наведено геометричні параметри та оптичні характеристики одномодового ОВ (згідно з рекомендацією МСЕ G.652), рекомендовані для використання у мережі зв'язку України [6].

У багатомодовому ОВ діаметр серцевини більший, ніж довжина хвилі ($d > \lambda$), і по такому волокну може поширюватись декілька типів хвиль (моди

низького та високого порядку). Діаметр серцевини багатомодових волокон – 50 або 60 мкм, при цьому діаметр оболонки – 125 мкм. Для передачі інформації по багатомодовому ОВ використовуються робочі довжини хвиль: 850 та 1300 нм. Геометричні та оптичні характеристики різних типів багатомодового ОВ наведено у додатку Д [7].

Під час поширення в ОВ потужність оптичного сигналу послаблюється. Цей ефект називається загасанням оптичного сигналу. Від загасання залежить максимальна дальність роботи ВОЛЗ. Основною причиною загасання є релєївське розсіювання оптичного сигналу на мікронеоднорідностях (флуктуаціях щільності та складу матеріалу) ОВ, а також поглинання оптичного сигналу при збудженні в матеріалі електронних переходів і резонансів, які перетворюють частину енергії оптичного сигналу на тепло.

Поглинання і релєївське розсіювання залежать від довжини хвилі оптичного випромінювання та визначають мінімально досяжні фундаментальні втрати в матеріалі ОВ (рис. 5).

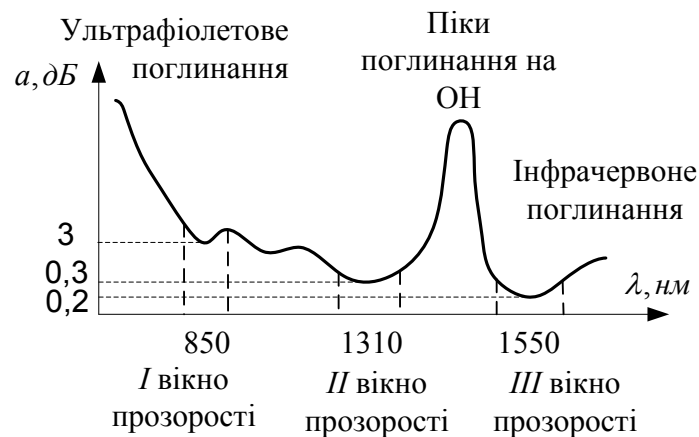


Рисунок 5 – Залежність загасання сигналу в оптичному волокні від довжини хвилі

Із графічної залежності на рис. 5 видно, що інфрачервоне поглинання стає більш суттєвим для довжин хвиль, більших 1,5 мкм, а ультрафіолетове – для довжин хвиль до 1,4 мкм. Крім цього, в оптичному волокні існують також поглинання на домішках в матеріалі волокна. Найбільший внесок у величину загасання дають домішки гідроксидної групи ОН. Таким чином, на графіку залежності загасання від довжини хвилі для оптичних волокон з очищеного кварцового скла чітко видно три вікна прозорості: 0,85, 1,31 і 1,55 мкм (рис. 5). Ці довжини хвиль використовують для передачі оптичних сигналів у сучасних ВОЛЗ [2–4].

Загасання оптичного сигналу прийнято визначати для певної довжини хвилі на один кілометр лінії. Наприклад, для одномодового ОВ на довжині хвилі 1310 нм значення кілометричного загасання становить 0,3 дБ/км, а для довжини хвилі 1550 нм – 0,2 дБ/км. Значення кілометричного загасання обов'язково вказується у паспортній документації на оптичний кабель.

Ще одним важливим параметром оптичних волокон є дисперсія – розсіювання у часі спектральних або модових складових оптичного сигналу, яке призводить до збільшення тривалості (розширення) оптичного імпульсу під час його поширення у ОВ, та визначається різницею квадратів тривалостей імпульсів на виході і вході ОВ [1–5]:

$$\tau = \sqrt{\tau_{вих}^2 - \tau_{вх}^2}, \quad (5)$$

де значення $\tau_{вих}$ і $\tau_{вх}$ визначаються на рівні половини амплітуди імпульсів.

Під час поширення в ОВ дисперсія деформує оптичні імпульси, в результаті вони накладаються один на одного та на приймальній стороні виникають бітові помилки (рис. 6). Розрізняють три види дисперсії: модова або міжмодова (модальна), хроматична та поляризаційна модова дисперсія.

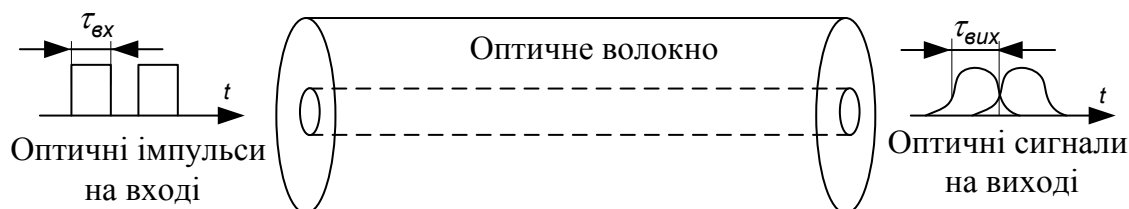


Рисунок 6 – Дисперсія сигналів у оптичному волокні

Модова дисперсія є основним видом дисперсії у багатомодових ОВ із ступінчастим профілем показника заломлення. Вона пов'язана з тим, що різні моди поширюються по волокну з однаковою швидкістю, але за різними траєкторіями, тому надходять в кінець волокна в різний час.

В одномодових ОВ розширення імпульсів зумовлене двома ефектами: хроматичною дисперсією (D) та поляризаційною модовою дисперсією (PMD). Зазвичай переважає хроматична дисперсія, а поляризаційно модова дисперсія починає проявлятися при швидкостях передачі більше 10 Гбіт/с і відстані між регенераційними пунктами в декілька сотень кілометрів [3, 5].

Хроматична дисперсія переважає у одномодовому ОВ та зумовлена ненульовою шириною спектра оптичного випромінювання, що направляється передавачем у волокно. Спектр такого оптичного випромінювання містить не одну, а безліч довжин хвиль. Хроматична дисперсія виникає, коли різні довжини хвиль всередині імпульсу поширюються з різною швидкістю. Це призводить до часового розширення оптичних імпульсів, що поширюються вздовж волокна [2, 4].

Поляризаційна модова дисперсія проявляється у одномодовому ОВ через неідеальності геометричних розмірів і наявності механічної напруженості. Зокрема, через порушення циліндричної симетрії (еліптичність) серцевини та оболонки перпендикулярні поляризовані компоненти оптичного сигналу поширюються з різними груповими швидкостями, що приз-

водить до дисперсії та викликає помилки під час приймання інформації. Максимальний вплив поляризаційна модова дисперсія здійснює на високошвидкісні системи передачі.

Дисперсія визначає пропускну здатність або обсяг інформації, що передається у ВОЛЗ. Зв'язок між дисперсією τ і пропускну здатністю ΔF наближено виражається співвідношенням $\Delta F=1/\tau$. Дисперсія не тільки обмежує частотний діапазон ОВ, але суттєво зменшує дальність передачі сигналів, оскільки чим довша лінія, тим більше спотворюється та розширюється тривалість імпульсів.

Розмірність коефіцієнта дисперсії визначається за формулою $D(\lambda)=(1/L)\cdot\Delta\tau/\Delta\lambda$. Приріст запізнення зазвичай вимірюється в пікосекундах ($1\text{ пс} = 10^{-12}\text{ с}$), довжина волокна L вимірюється в кілометрах, ширина спектрального інтервалу $\Delta\lambda$ в нанометрах ($1\text{ нм} = 10^{-9}\text{ м}$). Звідси отримуємо, що коефіцієнт дисперсії вимірюється у одиницях (пс/нм·км). Відповідно, нахил коефіцієнту дисперсії $S=D(\lambda)/(\lambda - \lambda_0)$ вимірюється в одиницях (пс/нм²·км) [3–5]. Інформація про дисперсію вказується у паспортній документації на оптичний кабель.

Оптичний кабель

В Україні оптичні кабелі виготовляють на Харківському заводі «Південь-кабель» та на Одеському заводі «Одескабель». Закордонними виробниками є такі відомі компанії як NK Cable (Фінляндія), Corning (США), Fujikura (Японія), Lucent Technologies (США) тощо.

Конструкція оптичного кабелю повинна надійно захищати ОВ як під час будівництва, так і під час експлуатації ВОЛЗ від зовнішніх негативних механічних та хімічних впливів.

Основними характеристиками оптичних кабелів зв'язку є [7, 8]:

- допустиме розтягувальне зусилля, кН;
- допустиме стискальне зусилля, Н/1000 мм;
- стійкість до удару, Нм;
- мінімальний радіус згину, мм;
- діапазони робочих температур, збереження, монтажу, °С;
- стійкість до повздовжнього проникнення вологи;
- стійкість до горіння.

Основними конструктивними елементами кабелів зв'язку є [7, 8]:

- оптичні волокна;
- серцевина кабелю;
- кабельна оболонка;
- силові армувальні елементи;
- захисне покриття.

Оптичні волокна, які входять до складу оптичного кабелю, покриваються лаковою захисною плівкою 5–10 мкм, призначеною для запобігання появи мікротріщин. Первинне захисне покриття оптичного волокна виконується з епоксикарилата із зовнішнім діаметром 250 ± 15 мкм, який наноситься на лаковану поверхню оболонки волокна. Призначення насту-

пних шарів – усунення впливів на оптичне волокно поперечних сил та збільшення його міцності на розрив. Це може бути буферний шар еластичного полімеру, який захищає від бічного стиснення, і зовнішній шар з полімерного матеріалу з високим модулем пружності, що працює на стиснення та розтягнення.

Серцевина оптичного кабелю, яка містить оптичні волокна, може мати декілька видів конструкції: одномодульну, багатомодульну концентричну, профільовану (рис. 7).

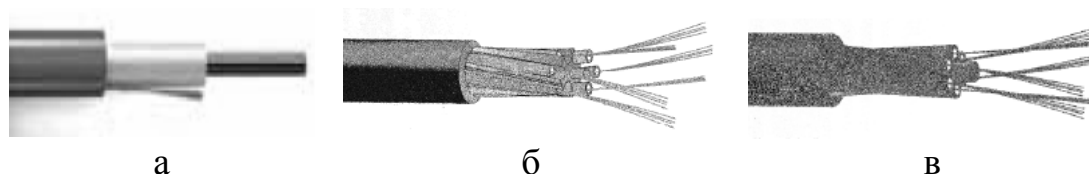


Рисунок 7 – Структура серцевини оптичного кабелю:

а – одномодульна; б – багатомодульна концентрична; в – профільована

Одномодульна серцевина оптичного кабелю являє собою трубку, що знаходиться в центрі кабелю і містить декілька повивів оптичних волокон, у кожному з яких може знаходитись до 12 оптичних волокон. Повиви виділяються спеціальним нитками різного кольору. Для підсилення механічної міцності у оболонках кабелю з одномодульною серцевиною використовуються дві проволочки. Недоліком такої конструкції є низька пружність кабелю. Одномодульна конструкція серцевини зменшує діаметр кабелю, тому такий кабель використовується на місцевих мережах та прокладається у кабельній каналізації або підвішується на опорах.

Багатомодульна концентрична структура серцевини складається із скручених навколо центрального силового елемента модульних трубок, у яких знаходяться оптичні волокна. При розтягненні та згинанні оптичного кабелю модульні трубки розтягуються як спіраль. При цьому оптичні волокна не зазнають ніяких механічних навантажень. Така конструкція кабелю використовується для зовнішнього прокладання ліній зв'язку. У ній навколо центрального силового елемента може бути від 6 до 12 модульних трубок, в кожній з яких може розміщуватись від 2 до 12 волокон. При цьому ємність може досягати 144 волокон.

Профільована серцевина забезпечує максимальний захист і міцність оптичного кабелю. Вона може містити декілька пазів, в кожному з яких розміщується від 2 до 8 оптичних волокон. Таким чином, ємність такої конструкції може сягати 48 оптичних волокон.

Модулі та оптичні волокна кабелю ідентифікуються за допомогою кольорового кодування або застосування лічильного і напрямного модулів. У кожного заводу-виробника є своє позначення. Наприклад, у вітчизняних виробників лічильний модуль має червоне або помаранчеве забарвлення, напрямний модуль – зелений. За наявності в кабелі корделів заповнення,

вони можуть бути пофарбовані та виконувати функції лічильного і нап'яного модулів.

Вільний простір в оптичних модулях, у пазах та між модульними трубками заповнюється тиксотропним гідрофобним заповнювачем (компаундом), який забезпечує повздовжню герметичність кабелю та захист оптичних волокон від впливу повітря та вологи.

Серцевина оптичного кабелю захищається кабельною оболонкою, яка являє собою неперервну металеву або поліетиленову трубку. Найчастіше оболонку виготовляють з поліетилену, який має гарні фізичні та діелектричні властивості. Поліетилен перешкоджає проникненню вологи в кабель, протидіє впливу низьких та високих температур, а також має здатність не змінювати свої фізичні властивості під впливом перепадів температури навколишнього середовища. Характеризується гарною стійкістю до ультрафіолетового випромінювання, різних хімічних та механічних впливів тощо.

Оболонки кабелю виготовляються з поліетилену різного ступеня щільності. Найбільш міцним є поліетилен високої щільності – HDPE (High Density Polyethylene), що використовується для виготовлення кабелів для прокладання у ґрунті або кабельній каналізації. Оболонка з поліетилену середньої щільності – MDPE (Medium Density Polyethylene) використовується у більшості конструкцій кабелів зв'язку. Поліетилен низької щільності – LDPE (Low Density Polyethylene) використовується у кабелях з металеву бронею. Зокрема, в конструкції таких кабелів зовнішній захисний шланг виконується із MDPE-поліетилену, а внутрішня оболонка, що знаходиться під сталеву бронею, виготовляється із поліетилену HDPE.

Кабелі для прокладання усередині приміщень, на промислових об'єктах, у тунелях метрополітену повинні відповідати вимогам пожежної безпеки. Тому оболонка таких кабелів не повинна підтримувати горіння (Non propagation of flame) та виділяти галогенів (Low Smoke Zero Halogen) або інших токсичних сполук у випадку виникнення пожежі. Для цього оболонку кабелю виготовляють із полівінілхлориду або поліетилену, до складу якого вносяться спеціальні хімічні добавки.

Для забезпечення необхідної механічної міцності та запобігання великих механічних напруг у конструкцію оптичного кабелю вводяться силові елементи. Майже у всіх кабелях використовуються кевларові нитки, які навиваються на осердя кабелю і забезпечують мінімально необхідне розтягувальне зусилля в 1000–2000 Н. Для збільшення механічної міцності застосовують один центральний або два бічних силових елементи, які можуть бути діелектричними або металевими. Конструкція з центральним силовим елементом додає гнучкості кабелю, а конструкція з двома бічними елементами забезпечує більшу стійкість до ударів розтягувальним навантаженням. Для забезпечення найбільшої стійкості до зовнішніх механічних і електричних впливів, а також для збільшення розтягувального зусилля в десятки кілоньютон застосовують кабельну броню – частину захисного покриття виготовляють із металевих стрічок або одного чи декількох шарів металевих проволочок.

Зовнішнім елементом кабелів зв'язку може бути захисний шланг – суцільна випресована трубка з пластмаси або резини, розміщена поверх металеві оболонки або екрана кабельного виробу.

На поверхні зовнішньої оболонки кабелю, не більше ніж через 1000 мм, наноситься маркування, що містить марку кабелю, тип температурного виконання, кількість і тип оптичних волокон, кількість елементів у повиві серцевини, допустиме тягове зусилля кабелю, назву або індекс виробника і рік виготовлення кабелю, а також мірні позначки довжини кабелю через кожен метр.

Існує велика кількість різноманітних конструкцій волоконно-оптичного кабелю, які можна класифікувати за призначенням, умовами застосування, способом прокладання, конструктивними та технологічними особливостями тощо. Згідно з класифікацією МСЕ-Т волоконно-оптичні кабелі поділяються на кабелі для внутрішнього та зовнішнього прокладання.

Внутрішньооб'єктні оптичні кабелі застосовуються усередині приміщень, на промислових об'єктах, в тунелях метрополітену тощо. Такі кабелі відрізняються підвищеною стійкістю до пожежі, гнучкістю, полегшеною конструкцією. У них використовується одношарове захисне покриття з полівінілхлориду. На рис. 8, а) зображено кабель I_V(ZN)H 1x6 G50/125, призначений для використання всередині приміщень [I]. Волокна знаходяться у буферній оболонці діаметром 900 мкм [V]. У цьому кабелі використовується неметалевий силовий елемент та кевларові нитки [ZN], з негорючою оболонкою помаранчевого кольору [H]. Кількість волокон – 6. Тип волокна – багатомодові [G50/125].

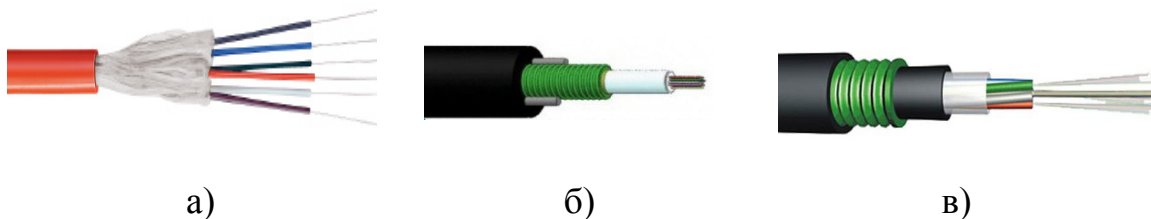


Рисунок 8 – Оптичні кабелі:

- а) – I_V(ZN)H 1x6 G50/125; б) – ОЦБгП-4А1(1x4)-1,5;
в) – ОКЛБг-3-ДА(2,7)2П-6x4Е1-0,40Ф3,5/0,30Н19-24/0

Оптичні кабелі для зовнішнього використання містять додаткові елементи, які підсилюють захист від зовнішніх впливів. У конструкції цих кабелів використовується одномодульна серцевина, яка дає можливість зменшити діаметр та вагу кабелю. Можуть використовуватись як одномодові, так і багатомодові волокна. Застосовуються в межах міст та населених пунктів для з'єднання будівель та вузлів зв'язку на відстані декількох кілометрів.

На рис. 8, б) наведено кабель ОЦБгП-4А1(1x4)-1,5 виробництва заводу «Південь-кабель» (додаток Б). Кабель містить центральний оптичний модуль, поверх якого накладені внутрішня полімерна оболонка, бронепокриття з гофрованої сталеві стрічки, ламінованої поліетіленом [БгП].

Зовнішня оболонка цього кабелю виготовлена з поелітилену і містить дві армувальні сталеві проволочки, що забезпечують розтягувальне зусилля до 1,5 кН. У центральному оптичному модулі знаходяться 4 одномодові волокна G652 (1×4). Вільний простір оптичного модуля заповнений гідрофобним компаундом. Такий оптичний кабель може застосовуватись в системах міжміських, зонових і міських (локальних) лініях зв'язку для цифрової і аналогової передачі даних. Діаметр такого кабелю становить 12 мм. Це дає можливість прокладати його в кабельній каналізації, трубах, блоках, по мостах, естакадах, а також по зовнішніх стінах будівель та споруд.

Для будівництва магістральних ліній зв'язку використовуються оптичні кабелі зі спеціальними елементами конструкції. У таких кабелях використовуються одномодові оптичні волокна (8/125 мкм) та сигнали із довжиною хвилі 1,3...1,55 мкм, що забезпечують мале загасання, дисперсію та велику інформаційно-пропускну здатність. Серцевина таких кабелів має багатомодульну конструкцію. У середині модулів та міжмодульний простір заповнено гідрофобом. Магістральні кабелі підсилюються гофрованою або дротяною бронею та захищаються зовнішнім поліетиленовим шлангом. Кабелі з такою конструкцією призначені для прокладання у ґрунтах всіх категорій, при перетині неглибоких боліт, водяних перешкод, несудохідних рік. Особливістю їх конструкції є висока механічна міцність (стійкість) до розтягнення, наявність спеціальних конструктивних елементів для захисту від гризунів, а також вологостійкість і розширений діапазон робочих температур. Якщо кабель прокладається у гірській місцевості, в умовах вічної мерзлоти, по дні річок та морів, то використовуються подвійний броньований захист із проволочок та профільований вид серцевини.

Наприклад, на рис. 8, в) наведено магістральний кабель ОКЛБг-3-ДА(2,7)2П-6×4Е1-0,40Ф3,5/0,30Н19-24/0, вироблений на заводі «Одескабель» [10]. Це оптичний кабель для зовнішнього застосування (Л) третьої розробки [3]. Містить дві поліетиленові оболонки (2П): зовнішню та внутрішню, між якими знаходиться металева броня у вигляді гофрованої стрічки (Бг). Одномодові волокна G652 розміщені у шести модульних трубах по чотири у кожній (6×4Е1). У другому вікні прозорості (Ф) на довжині хвилі 1310 нм хроматична дисперсія становить 3,5 пс/(нм·км), а загасання – 0,4 дБ/км. У третьому вікні прозорості (Н) на довжині хвилі 1550 нм дисперсія збільшується до 18 пс/(нм·км), а загасання зменшується до 0,3 дБ/км. Загальна кількість волокон – 24, дистанційні жили відсутні (24/0). У середині модульні трубки, а також простір між ними, заповнені водовідштовхуючим гідрофоном. Як силові компоненти використовуються кевларові нитки і центральний неметалевий елемент (ДА(2,7)), що забезпечують розтягувальне зусилля 2,7 кН. Інші технічні характеристики виробник вказує у супровідній та паспортній документації.

Оптичні муфти

Оптичні муфти використовуються для з'єднання будівельних довжин оптичного кабелю та реалізації відгалужень у оптичних телекомунікаційних мережах. На сьогоднішній день до муфт висуваються високі вимоги щодо надійності, механічної міцності та герметичності. Насамперед, оптичні муфти повинні забезпечувати монтаж оптичного кабелю різних

конструкцій та захист зварних з'єднань від зовнішніх механічних та хімічних впливів. Також вони не повинні зменшувати опір ізоляції та випробувальну напругу захисного шланга оптичного кабелю, повинні бути стійкими до дії корозійного середовища (нафтопродукти, поверхневоактивні матеріали тощо), сонячного випромінювання, виключати проникнення води в муфту в разі пошкодження захисних оболонок оптичного кабелю, не потребувати технічного обслуговування впродовж дії часу використання (25 років).

За конструктивним виконанням оптичні муфти поділяють на прохідні та тупикові (введення оптичного кабелю тільки з одного боку муфти), а за схемою монтажу – на прямі та розгалужувальні. Крім того, габаритні розміри оптичних муфт відрізняються залежно від місця їх застосування: у колодязях кабельної каналізації, колекторах чи шахтах міських мереж, безпосередньо в ґрунті або в спеціальних пластикових колодязях для зонних і магістральних оптичних ліній, на опорах повітряних ліній зв'язку або ліній електропередач [11].

На сучасному етапі розбудови ВОЛЗ в Україні використовуються оптичні муфти таких виробників: «Tyco Electronics Raychem NV» (США); «Reichle & De-Massari» (Швейцарія); «Ericsson» (Швеція) тощо.

На рис. 9 наведено конструкцію оптичної муфти FOSC 400 виробництва Tyco Electronics Raychem NV. Ця муфта набула широкого застосування, оскільки забезпечує монтаж кабелів різних конструкцій (багатомодульних, з центральною модульною трубкою, з профільованою серцевиною тощо). Габаритні розміри такої муфти дозволяють розташовувати її в різних умовах (в кабельних колодязях, підвішувати на опорах, розміщувати безпосередньо в ґрунті тощо), а також забезпечують різноманітну конфігурацію монтажу (пряме з'єднання волокон, відгалужень тощо).

Зовні муфта має циліндричну форму із портами для введення оптичного кабелю. За допомогою механічного хомута, гумової прокладки та знімного корпусу забезпечується доступ усередину муфти та надійна герметизація.

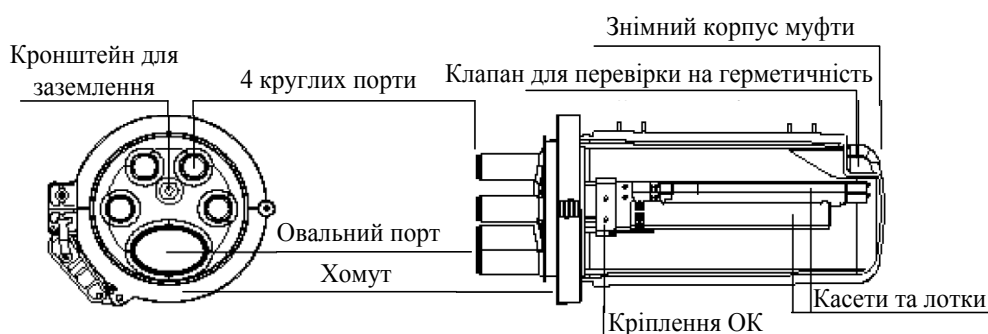


Рисунок 9 – Конструкція оптичної муфти

Оптичні кабелі вводяться у муфту через овальні та круглі порти. Овальний порт призначений для введення двох магістральних кабелів або організації транзитного проходження окремих волокон через муфту. Додаткові кабелі, зокрема для відгалуження, зазвичай вводяться через круглі порти. Герметизація кабельних портів виконується за допомогою термосаджувальних трубок, манжетів та кліпс.

Введений через зовнішній порт кабель кріпиться всередині муфти до її корпусу спеціальними хомутами, а центральний силовий елемент фіксується болтовим з'єднанням. Оптичні волокна через спеціальну трубку подаються на касету або лоток, де розміщуються зварні з'єднання та технологічний запас оптичних волокон. Транзитні модулі та волокна можуть розміщуватись під касетами. Залежно від ємності оптичного кабелю у муфті одночасно може розміщуватись декілька касет або лотків. На одній касеті можна розмістити до 24 зварних з'єднань оптичних волокон. Крім цього, у муфті виконується з'єднання металевих елементів кабелю, зокрема для з'єднання сталеві гофрованої броні використовується спеціальний комплект подовження екрана.

Необхідно зазначити, що через ненадійне кріплення кабелю в муфті може виникнути його зміщення або прокручування, що призводить до пошкодження модульних трубок та оптичних волокон.

Для перевірки на герметичність використовується спеціальний клапан, через який у закриту муфту подається стиснуте повітря. Крім цього, усередині муфти розміщується пакет із силікагелем, який є своєрідним індикатором наявності вологи усередині муфти.

Заземлювальний кронштейн використовується для заземлення металевих елементів кабельної лінії через муфту.

Прикладом маркування такої муфти є FOSC-400B4-S12-1-NNN-UA01. Оптична муфта FOSC-400 типу В з 4 круглими портами, S12 – касета на 12 зварних з'єднань, 1 – у муфті знаходиться одна касета. У конструкції муфти відсутні блокування, клапан тиску та заземлювальний кронштейн. UA01 – контрольний номер замовника.

Оптичні панелі

Кінцеві оптичні панелі або кроси (Optical Distribution Frame, ODF) призначені для під'єднання до ВОЛЗ приймально-передавального обладнання, контрольно-вимірювальних приладів, швидкої комутації оптичних волокон тощо.

На рис. 10 наведена конструкція оптичної панелі, яка широко використовується на різних магістральних та місцевих ВОЛЗ.

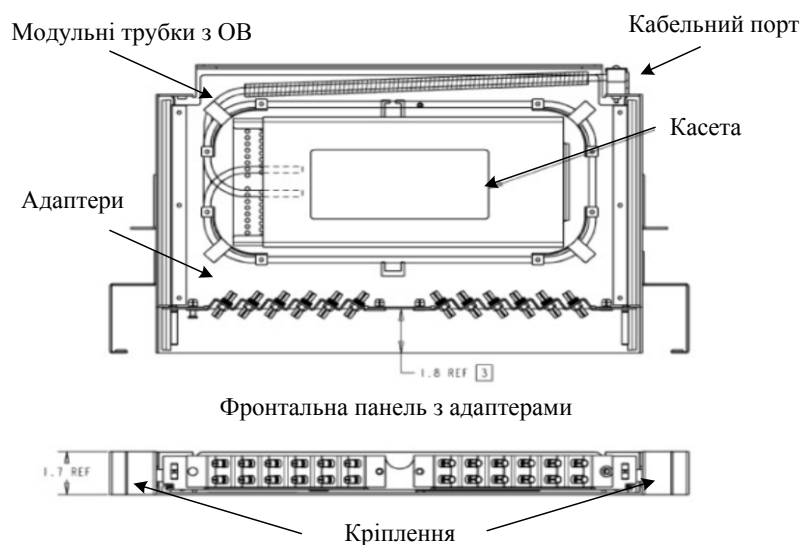


Рисунок 10 – Конструкція оптичної панелі ODF

Габаритні розміри цієї панелі адаптовані для розміщення її у телекомунікаційній шафі або стояку розміром 19". Для доступу до пігтейлів та зварних з'єднань використовуються поворотна або висувна панель, знімна верхня кришка.

На фронтальній панелі ODF адаптери зафіксовані у відповідних отворах під кутом 45°. Це зменшує небезпеку випромінювання оптичного сигналу на обслуговуючий персонал. Кількість адаптерів залежить від призначення ODF та ємності волоконно-оптичного кабелю і може досягати 96. Із внутрішньої сторони фронтальної панелі до адаптерів під'єднуються пігтейли.

У середині панелі знаходиться касета, у якій розміщуються зварні з'єднання та технологічні запаси оптичних волокон та пігтейлів.

На задній стінці панелі ODF передбачено один або декілька кабельних портів, хомути для кріплення кабелю та фіксатори силового елемента волоконно-оптичного кабелю.

У сучасних ODF використовуються роз'ємні з'єднання типу FC, SC, E2000, LS тощо (рис. 11).

Nippon Telephone&Telegraph (Японія)



а

American Telephone&Telegraph (США)



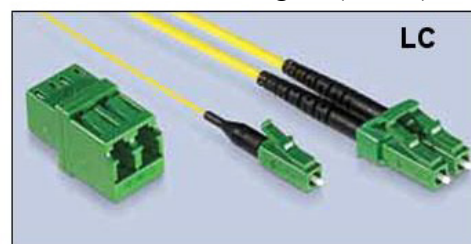
б

NEC (Японія)



в

Lucent Technologies (США)



г

Рисунок 11 – Оптичні роз'ємні з'єднання та пігтейли:

а – FC; б – ST; в – SC; г – LC

Конструктивно роз'ємне з'єднання складається з конекторів та з'єднувальної втулки – адаптера. Торцева поверхня конектора виконана у вигляді керамічного наконечника із поліруванням типу PC, SPC, UPS, APS. До роз'ємних з'єднань висуваються високі вимоги щодо стабільності оптичних та механічних параметрів. Зокрема, це мінімальні втрати оптичної потужності, низький коефіцієнт відбиття, а також висока надійність роботи у різних умовах експлуатації та забезпечення великої кількості циклів комутації (близько 1000).

Конектори FC/PC мають круглий металевий корпус і різьбове з'єднання із адаптером (рис. 11, а). Вони достатньо надійні та рекомендуються, у першу чергу, для одномодових ОВ магістральних та місцевих мереж. У стандарті ST передбачено байонетний тип з'єднання. Він використовується в локальних мережах і системах зв'язку загального призначення. Найбільш поширеним є багатомодовий варіант ST. Найбільш перспективним є роз'єм стандарту SC. Він має пластмасовий корпус прямокутної форми, дешевий та зручний.

Прикладом маркування оптичної панелі є FOMS-FPS-O-SNF1-24. Оптична панель FOMS-FPS шириною 19" та висотою 44 мм – O, S – панель призначена для зрощування та комутації оптичного волокна, N – адаптери на фронтальні панелі, повернуті під кутом 45° вправо, F1 – адаптер типу FC. Кількість пігтейлів – 24 шт.

Хід роботи

1. Ознайомитися з конструктивними елементами на стенді ВОЛЗ, особливостями монтажу оптичних муфт та кінцевих оптичних комутаційних панелей.
2. Отримати зразок оптичного кабелю, замалювати ескіз його поперечного перерізу, визначити кількість волокон та елементи захисних оболонок.
3. З допомогою мікроскопа та штангенциркуля дослідити його конструктивні елементи, виміряти геометричні розміри, визначити кольорове маркування волокон тощо.
4. З допомогою довідника встановити назву кабелю, його основні параметри, галузь застосування.
5. Скласти таблицю основних технічних характеристик досліджуваного зразка кабелю.

Устаткування

1. Навчальний стенд ВОЛЗ.
2. Зразки оптичних кабелів.
3. Мікроскоп.
4. Штангенциркуль або мікрометр.

Зміст звіту

1. Тема, мета роботи, завдання та основні задачі, які необхідно вирішити у даній лабораторній роботі.
2. Короткі теоретичні відомості про принцип роботи та конструкцію ВОЛЗ. Аналіз основних конструктивних елементів ВОЛЗ. Особливості монтажних робіт на ВОЛЗ.
3. У ході роботи необхідно зобразити структурну схему ВОЛЗ, ескіз отриманого зразка оптичного кабелю, роз'яснення назви кабелю, проаналі-

зувати дані заводського паспорта, охарактеризувати матеріали, з яких виготовлені захисні елементи кабелю, вказати оптичні параметри кабелю, галузь застосування.

4. Висновки.

Контрольні питання

1. Основні конструктивні елементи ВОЛЗ, їх загальна характеристика.
2. Структура оптичного волокна та принцип поширення оптичного сигналу.
3. Показники заломлення. Ефект повного внутрішнього відбиття.
4. Числова апертура.
5. Загасання, вікна прозорості, релеївське розсіювання і поглинання.
6. Дисперсія, види та причина виникнення.
7. Характеристики одномодових волокон.
8. Характеристики багатомодових волокон.
9. Конструкція оптичного кабелю.
10. Оптичні кабелі для внутрішньооб'єктного використання.
11. Конструкція оптичної муфти, види, параметри.
12. Конструкція оптичного кроса.

Лабораторна робота № 2 **Вимірювання оптичних параметрів ВОЛЗ** **за допомогою рефлектометра**

Мета: ознайомитись з принципом роботи і структурною схемою оптичного імпульсного рефлектометра, розглянути основи теорії та практики вимірювань параметрів ВОЛЗ з допомогою рефлектометра; набути практичних навичок роботи з рефлектограмами.

Теоретичні відомості

Оптичний імпульсний рефлектометр (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) призначений для вимірювання параметрів ВОЛЗ. З допомогою оптичного імпульсного рефлектометра (далі рефлектометр) визначається розподіл втрат оптичної потужності вздовж ВОЛЗ, встановлюються місця знаходження пошкоджень та дефектних ділянок оптичних волокон, вимірюється оптична довжина лінії та відстані між неоднорідностями цієї лінії, визначаються втрати на загасання у роз'ємних та нероз'ємних з'єднаннях, втрати на відбиття тощо [15].

Найбільша перевага рефлектометра порівняно з іншими приладами – це можливість діагностування параметрів ВОЛЗ, маючи доступ лише до одного з кінців лінії зв'язку. Це дозволяє використовувати рефлектометр під час виготовлення оптичних кабелів (ОК), на всіх етапах будівництва, монтажу та експлуатації ВОЛЗ [16].

Наприклад, перед прокладанням кабельних ліній зв'язку здійснюється вхідний контроль будівельних довжин ОК, які надходять від заводу виробника та намотані на барабани. Під час вхідного контролю ОВ під'єднуються до рефлектометра за допомогою адаптера та оптичного шнура типу «pig-tail». При цьому для юстування використовуються зварювальний апарат або механічні з'єднувачі ОВ багаторазового використання. За здобутою рефлектограмою проводиться перевірка ОВ на наявність неоднорідностей і тріщин, вимірюються загасання і довжини ОВ в кабелі. Отримані значення порівнюються з паспортними даними на кабель. Результати вхідного контролю фіксуються у протоколах вхідного контролю ОК [16].

Після завершення будівельних робіт з прокладання кабелів та перед початком монтажу муфт на всіх будівельних довжинах ОК проводиться комплекс вимірювань оптичних параметрів ОВ, який називається контролем після прокладання. На цьому етапі важливо перевірити ОВ на наявність мікротріщин та обривів волокон, адже після прокладання ОК механізованим способом, наприклад, кабелепрокладачем або екскаватором, на певних ділянках траси можуть виникати механічні навантаження на ОК, які призводять до стиснення та/або розтягнення ОВ. Отримані результати порівнюються із даними протоколів вхідного контролю та паспортною документацією на кабель. Якщо в результаті контролю під час прокладання

ОК не виникло погіршення оптичних параметрів ОВ, тоді переходять до монтажу муфт та зварювання оптичних волокон [16].

Під час монтажних робіт вимірювання втрат у місці з'єднання оптичних волокон виконуються рефлектометром з двох сторін, і дійсне значення загасання в місці з'єднання ОВ визначається як середньоарифметичне значення, отриманих з обох сторін. Це пояснюється тим, що в деяких випадках на рефлектограмі можливі плюсові «стрибки» в місці з'єднання ОВ внаслідок допустимих відхилень їх оптичних та геометричних параметрів [1]. Отримані значення загасання у місці зварювання ОВ заносяться у паспорт муфти. Усі паспорти та протоколи вимірювання, підготовлені під час будівельно-монтажних робіт, додаються до виконавчої (паспортної) документації на ВОЛЗ і під час приймально-здавальних робіт передаються організації з обслуговування та експлуатації нової ВОЛЗ [16].

Під час експлуатації ВОЛЗ виконуються періодичні або планові вимірювання ОВ з метою діагностування їх оптичних параметрів. Відомо, що з часом ОВ можуть деградувати під дією хімічних та механічних впливів, що погіршують параметри ОВ. Зокрема, при контакті ОВ з водою або іншими хімічними речовинами, які можуть накопичуватись усередині оптичних муфт або проникати в ОК, відбувається «помутніння» ОВ. Під дією поперечних механічних навантажень та натягнення в ОК можуть виникати мікротріщини або деформація ОВ. Для більш точного аналізу механічної деформації та натягнення ОВ використовуються спеціальні бриллюєнівські рефлектометри (BOTDR) [15].

Нведені вище та інші негативні впливи призводять до збільшення загасання оптичного сигналу в ОВ та/або виведення із ладу ВОЛЗ у цілому. Тому під час експлуатації ВОЛЗ з періодичністю один або декілька разів на рік здійснюються контрольні вимірювання таких оптичних параметрів ОВ, як кілометричне загасання між зварними з'єднаннями ОВ та по всій довжині ВОЛЗ, загасання у місці зварювання ОВ, в муфтах тощо.

Надзвичайно важливе значення мають рефлектометричні вимірювання параметрів ОВ під час аварійних робіт на ВОЛЗ. За допомогою рефлектометра можна з максимальною точністю і за мінімальний час визначити координати аварійної ділянки ВОЛЗ та встановити місце пошкодження ОВ. Крім цього, після відновлювальних робіт виконується перевірка параметрів вставки ОК та у місцях зварювання ОВ.

Відомими світовими виробниками оптичних рефлектометрів є JDSU, Acterna, Agilent Technologies, EXFO, Wavetek та інші.

На рис. 12, а) наведено оптичні рефлектометри ОР-2-2 та ОР 2-3 білоруського виробництва, призначені для вимірювання загасання в ОВ та у місцях їх з'єднання, довжини ОВ і відстані до місця пошкодження ВОЛЗ. Рефлектометри ОР-2-2 та ОР 2-3 складаються з базового блока, змінних оптичних блоків для вимірювання одно- та багатомодових ОВ, оптичних модулів, які можуть мати від однієї до трьох довжин хвиль вимірювання та п'ять модифікацій в динамічному діапазоні від 28 дБ до 43 дБ. Керування

роботою рефлектометра, відображення, обробка та збереження результатів вимірювання здійснюються з допомогою персонального комп'ютера (ПК) типу Notebook. Зв'язок між рефлектометром та ПК може здійснюватися через послідовний порт RS-232 з допомогою з'єднувального кабелю для моделей OP-2-2 або з допомогою кабелю USB для моделі OP-3-3 [17].



Рисунок 12 – Оптичні рефлектометри:
а – OP-2-2(3); б – EXFO AXS-110; в – JDSU MTS 8000

Компактні оптичні рефлектометри використовуються для оперативного пошуку пошкоджень та тестування волоконно-оптичних ліній довжиною до декількох десятків кілометрів, які входять до складу мереж доступу (FTTx) та пасивних оптичних мереж (PON). Зокрема, оптичний рефлектометр AXS-110 виробництва відомої канадської фірми EXFO (рис. 12, б) призначений для тестування одно- та багатомодових ОВ на довжинах хвиль 850, 1300, 1310 та 1550 нм з динамічним діапазоном 24, 25, 32 і 30 дБ, відповідно. Крім цього, рефлектометри AXS-110 дозволяють виконувати тестування пасивних оптичних мереж із оптичними розгалужувачами з великою кількістю портів (до 32). Прилад може комплектуватись портом для тестування на довжині хвилі 1625 нм та фільтром активних хвиль (1310, 1490 та 1550 нм), що дозволяють виконувати вимірювання у робочій мережі, не вимикаючи абонентів. Порт USB 2.0 дозволяє здійснювати передачу даних на ПК для подальшого формування звітів та аналізування рефлектограм [18].

Оптичні рефлектометри, які входять до складу багатофункціональних вимірювальних платформ, разом із іншими модульними блоками забезпечують весь комплекс вимірювань під час будівництва та експлуатації волоконно-оптичних ліній та мереж зв'язку на транспортному та фізичному рівнях. Крім оптичного модуля, базова платформа може комплектуватись оптичним аналізатором спектра, вимірювачами хроматичної дисперсії (CD) та поляризаційно-модової дисперсії (PMD), відеомікроскопом для контролю якості торцевих поверхонь оптичних роз'ємів тощо. На рис. 12, в) наведено універсальну вимірювальну платформу MTS-8000, розроблену корпорацією

JDSU (США). Вона містить великий дисплей з можливістю встановлення сенсорного екрана. Для фізичного рівня платформа JDSU MTS-8000 комплектується модулями оптичних рефлектометрів коротких і довгих діапазонів CWDM и DWDM, модулями аналізатора спектра CWDM/DWDM і ROADM та ізоляції каналів до 12,5 Гбіт/с, модулями аналізу хроматичної та поляризаційно-модової дисперсії. Крім цього, у корпус платформи є можливість інтегрувати вимірювач потужності оптичного випромінювання (800-1650 нм), джерело видимого випромінювання Visual Fault Locator (635 нм) для пошуку обривів у оптичній лінії, оптичний телефон, відеомікроскоп та інше. Транспортний модуль забезпечує вимірювання технологій Ethernet, SDH, PDH, NGN [19].

Принцип роботи рефлектометра базується на аналізі сигналів зворотного розсіювання та відбиття, які виникають у ОВ під час поширення у ньому зондувального імпульсного сигналу, що був випромінений рефлектометром. На основі даних про час надходження та потужність зворотних сигналів формується рефлектограма – графічна залежність розподілу втрат оптичної потужності від довжини ВОЛЗ. З допомогою рефлектограми можна проаналізувати основні параметри ВОЛЗ [15].

Під час поширення у ОВ зондувальний імпульсний сигнал поглинається та розсіюється на мікронеоднорідностях та у матеріалі волокна, а також відбивається та/або заломлюється на межі поділу середовищ з різною оптичною щільністю. У результаті формуються відповідно сигнали релєївського розсіювання та френелівського відбиття, які рухаються в напрямку рефлектометра і реєструються на початку ОВ чутливим фотоприймачем рефлектометра. У сигналах зворотного релєївського розсіювання міститься інформація про втрати (поглинання) оптичної потужності у будівельних довжинах ОК та у місцях з'єднання ОВ. А сигнали френелівського відбиття містять інформацію про роз'ємні з'єднання та закінчення або обриви ОВ.

Релєївським розсіюванням називається когерентне розсіювання оптичного сигналу у матеріалі серцевини ОВ та/або на мікронеоднорідностях (релєївських центрах), розміри яких менші за довжину хвилі оптичного сигналу. Ці розсіювання виникають внаслідок зміни показника заломлення через флуктуації густини і складу матеріалу серцевини волокна, що виникають під час їх виготовлення. Релєївське розсіювання є нижньою теоретичною межею загасання оптичного випромінювання і становить 2,5 дБ на довжині хвилі 820 нм, 0,24 дБ на довжині хвилі 1300 нм та 0,012 дБ на довжині хвилі 1550 нм.

Релєївське розсіювання у матеріалі та на мікронеоднорідностях ОВ відбувається у різних напрямках. Частина цих розсіяних сигналів падає на межу поділу середовищ серцевина–оболонка під кутом, меншим за критичний, тому проникає в оболонку та загасає в ній. Інша частина сигналів поширюється по ОВ, у тому числі в напрямку рефлектометра і детектується високочутливим фотоприймачем (рис. 13).

Крім цього, зондувальний оптичний сигнал, випромінений рефлектометром, поширюючись у оптичному волокні, зазнає не тільки розсіювання, але і відбиття від межі поділу середовищ із різною оптичною щільністю або різними значеннями показників заломлення (рис. 14). Це відбувається, якщо кут падіння оптичного сигналу на межу поділу середовищ з різними показниками заломлення менший від критичного кута повного внутрішнього відбиття. У результаті частина потужності оптичного випромінювання відбивається назад у напрямку рефлектометра, а інша частина продовжує поширюватись у заданому напрямку. Це явище називається френелівським відбиттям, при якому також має місце втрата оптичної потужності. На основі френелівського відбиття можна встановити знаходження роз'ємних з'єднань ВОЛЗ, а також місця обриву оптичних волокон або кінець лінії зв'язку.

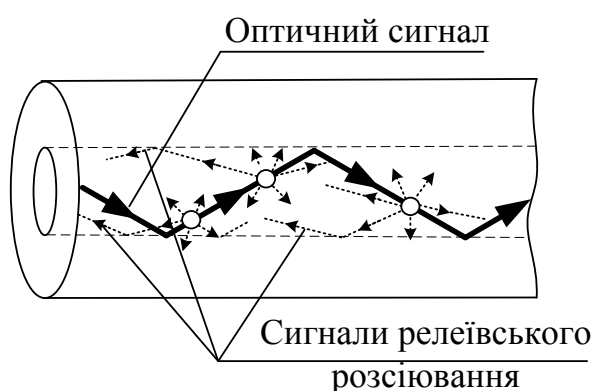


Рисунок 13 – Релєївське розсіювання

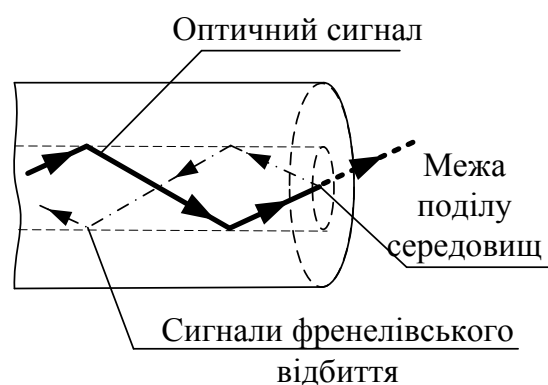


Рисунок 14 – Френелівське відбиття

Структурна схема рефлектометра наведена на рис. 15 [17]. Рефлектометр містить:

- реєстр Р для зчитування даних з виходу аналого-цифрового перетворювача АЦП і передачі їх в процесор;
- АЦП для перетворення аналогового сигналу з виходу узгоджувального підсилювача у цифрову форму;
- узгоджувальний підсилювач УП для узгодження рівнів сигналів оптичного приймального пристрою та АЦП;
- пристрій зсуву ПЗ для збільшення просторової роздільної здатності рефлектометра шляхом створення додаткового зсуву лазерного імпульсу відносно сигналу керування процесора;
- формувач Ф для формування сигналу запуску оптичного передавального пристрою;
- оперативний запам'ятовувальний пристрій ОЗП для запам'ятовування рефлектограм;
- постійний запам'ятовувальний пристрій ПЗП для збереження програм;
- генератор Г для формування тактових сигналів процесора;

- пристрій введення-виведення ПВВ для організації зв'язку процесора через послідовний інтерфейс з персональним ПК;
- процесор, що створює сигнали керування блоками Р, ПЗ, ОЗП, ПЗП, ПВВ, зчитує дані з цих блоків і здійснює зв'язок рефлектометра з ПК. Блоки ПЗ, Ф, ОЗП, ПЗП, Г, ПВВ об'єднані на платі сигнального процесора ПСП.
- змінний оптичний блок ЗОБ складається з оптичного передавального пристрою ОПдП, оптичного приймального пристрою ОПрП і оптичного розгалужувача ОР. ОПдП містить потужний лазерний діод, призначений для генерації оптичних імпульсів із заданою тривалістю. ОПрП слугує для реєстрації і підсилення розсіяного оптичного сигналу. ОР використовується для введення імпульсів у досліджуване ОВ і отримання сигналу зворотного розсіювання на ОПрП.

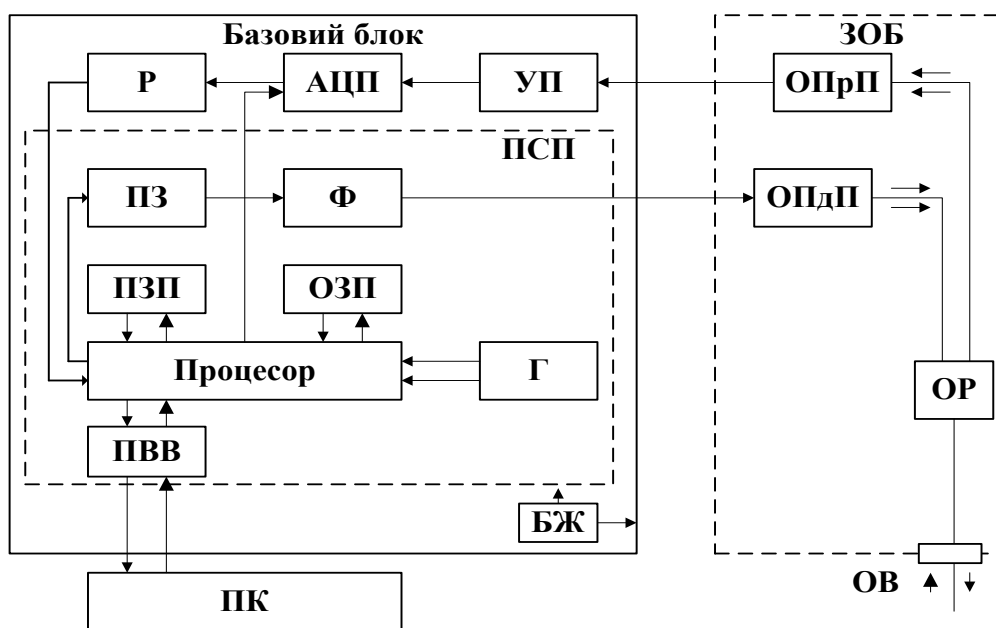


Рисунок 15 – Структурна схема оптичного рефлектометра

У базовому блоці знаходяться акумуляторна батарея, імпульсний перетворювач напруги та електронні вузли для керування процесом вимірювання і накопичення інформації, а також ЗОБ. На передній панелі ЗОБ знаходиться оптичний роз'єм для під'єднання вимірювального ОВ.

Рефлектометр працює таким чином [17]. Згідно з командами керувальної програми, що знаходиться у оперативній пам'яті ПК, процесор виробляє код запуску оптичних імпульсів (з допомогою блоків ПЗ, Ф та ОПдП). Під час проходження імпульсу по ОВ частина його енергії розсіюється назад і надходить на ОПрП, у якому перетворюється у електричну форму і підсилюється. Тривалість сигналу зворотного розсіювання на виході ОПрП дорівнює подвійному часу проходження оптичного випромінювання по ОВ. Через узгоджувальний підсилювач УП сигнал зворотного розсіювання надходить на вхід АЦП і перетворюється у цифрову форму. Робота АЦП синхронізується процесором. За один період запуску оптичних імпульсів

АЦП зчитує 16384 відліків вимірювального сигналу. Відлік, взятий у момент часу t відносно моменту запуску оптичного імпульсу, відповідає сигналу, розсіяному від точки ОВ, що знаходиться на відстані:

$$z = ct/(2n), \quad (6)$$

де c – швидкість світла у вакуумі;
 n – показник заломлення серцевини ОВ.

Таким чином, за один період запуску оптичного імпульсу вимірюються сигнали, що надходять від великої кількості точок ОВ.

Кожен відлік, перетворений АЦП в цифрову форму, запам'ятовується оперативним запам'ятовувальним пристроєм ОЗП. Для точного вимірювання сигналу зворотного розсіювання здійснюється багаторазовий зсув оптичного імпульсу. При цьому процесор усереднює відліки, які відповідають однаковим точкам ОВ, що призводить до збільшення співвідношення сигнал/шум. Після декількох таких циклів отримані значення сигналу з ОЗП надходять у ПК, запам'ятовуються та відображаються на екрані. Після цього процес вимірювання, усереднення та очищення регістрів ОЗП повторюється знову. Таким чином, вимірюється, запам'ятовується та відображається вся рефлектограма ОВ. Для збільшення точності та динамічного діапазону вимірювання можна збільшувати кількість усереднень, встановивши в режим вимірювання з усередненням величину $N_{av} > 1$, ця величина може бути вибрана 1, 2, 4, 8 і так далі до 1024. При цьому час вимірювання пропорційно збільшується.


Основним параметром оптичного рефлектометра є динамічний діапазон. Згідно з рекомендаціями Міжнародної електротехнічної комісії (International Electrotechnical Commission, IEC) динамічний діапазон рефлектометра визначається як різниця між рівнем зворотного релеївського розсіювання на початку рефлектограми і піковим значенням власних шумів фотоприймача за відсутності сигналу. Тобто динамічний діапазон рефлектометра опосередковано визначає довжину ОВ, яку можна виміряти рефлектометром. Діапазон визначається в децибелах, причому чим більше значення діапазону, тим більшу довжину ОВ можна виміряти рефлектометром. Крім цього, динамічний діапазон залежить від потужності та тривалості зондувального імпульсу (імпульс повинен бути достатньо потужним, щоб досягнути кінця ОВ), чутливості фотоприймача (щоб забезпечити вимірювання доволі слабких сигналів зворотного розсіювання, що надходять з дуального кінця ВОЛЗ), часу усереднення (чим більший час усереднення, тим менший рівень шумів), довжини хвилі тощо [15].

Тому перед вимірюванням необхідно встановити параметри вимірювання:

- тип оптичного волокна і довжина хвилі вимірювання λ , нм;
- значення показника заломлення ОВ n ;
- максимальний діапазон вимірювання довжини лінії L_{max} , км;

- тривалість вимірюваного імпульсу T_p , нм або мкм;
- параметр, що характеризує загальне число усереднень, N_{av} ;
- порогові значення вимірюваних величин;
- відстань L_1 від початку ОВ до початку вимірюваної ділянки, км
- відстань L_2 від початку ОВ до кінця вимірюваної ділянки, км;
- роздільна здатність dL .

Оптичний рефлектометр забезпечує два основних режими вимірювання: з усередненням та без усереднення. У режимі з усередненням встановлюється кількість усереднень або час вимірювання. У режимі без усереднення встановлюється період оновлення рефлектограми. Режим без усереднення використовується, коли необхідно оперативно ідентифікувати ОВ, попередньо оцінити його параметри тощо. Наприклад, у аварійних ситуаціях під час пошкодження ВОЛЗ для визначення пошкоджених волокон та відстані до місця пошкодження. Режим вимірювання з усередненням застосовується для отримання рефлектограми і подальшого детального аналізу та дослідження параметрів ОВ. При цьому результати вимірювання усереднюються відповідно до значення параметра усереднення N_{av} і відображається відносна шкала часу вимірювання. Процес вимірювання закінчується, коли параметр N_{av} досягає значення, встановленого оператором.

Необхідно звернути увагу на те, що одночасно з початком процесу вимірювання на моніторі рефлектометра загоряється знак лазерної небезпеки , який означає, що під час вимірювання існує небезпека пошкодження сітківки ока невидимим для людського зору оптичним випромінюванням. Тому забороняється виконувати під'єднання або від'єднання ОВ до рефлектометра під час виконання вимірювання (коли лазер працює). У процесі виконання роботи необхідно чітко дотримуватись порядку виконання роботи та вказівок викладача.

Після завершення процесу вимірювання формується рефлектограма із основними подіями та неоднорідностями, які мають місце у досліджуваній лінії зв'язку (рис. 16).

Початок ВОЛЗ на рефлектограмі має вигляд пікового сплеску і називається мертвою зоною (рис. 16). Мертва зона рефлектограми виникає через перенавантаження фотоприймача рефлектометра в результаті відбиття частини потужності зондувального імпульсу від вхідного роз'ємного з'єднання, з допомогою якого рефлектометр під'єднується до ВОЛЗ. Довжина мертвої зони приблизно дорівнює декільком десяткам метрів. Для аналізу початку лінії використовуються компенсатор мертвої зони – відрізок оптичного волокна довжиною близько сотні метрів із роз'ємними з'єднаннями на його кінцях, який вкладений у зручний для транспортування бокс. Такий компенсатор відіграє функцію еквівалента ОВ, який усуває мертву зону на початку лінії та дозволяє коректно аналізувати всю оптичну лінію від її початку до кінця.

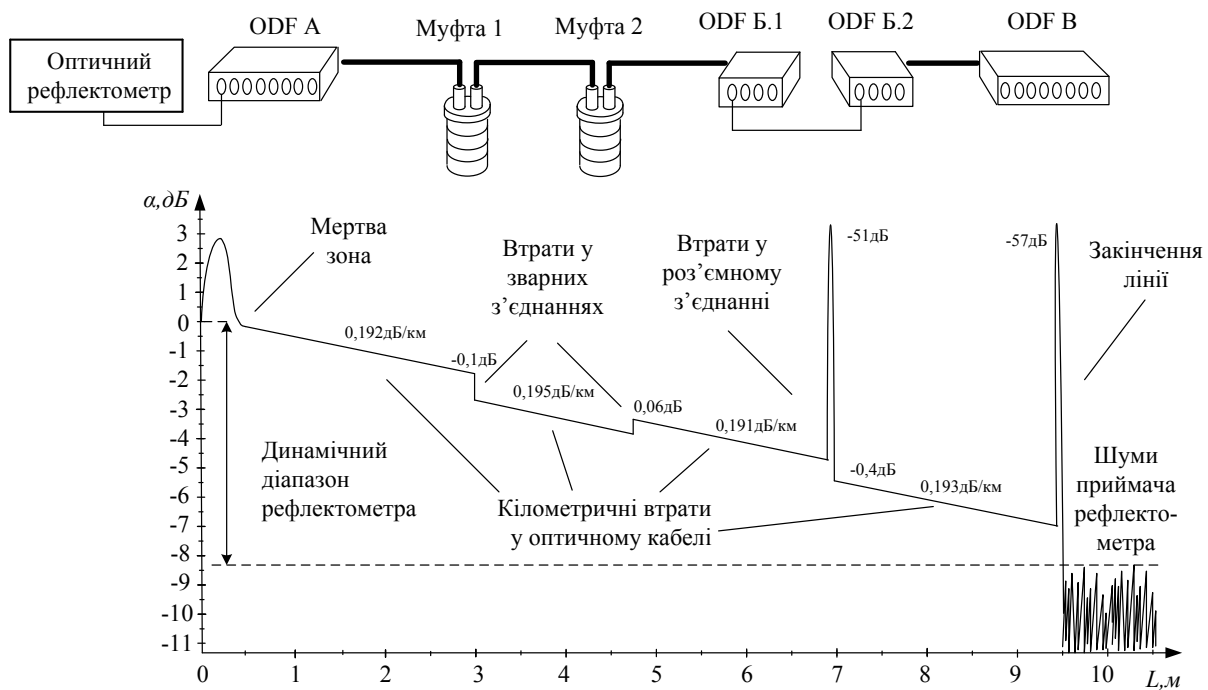


Рисунок 16 – ВОЛЗ та її рефлектограма із відповідним подіями й неоднорідностями

Зварні з'єднання у оптичних муфтах, тріщини та перегини ОВ характеризуються втратами на поглинання та на рефлектограмі мають вигляд сходинок (рис. 16). Поруч з кожною сходинкою вказуються значення втрат у децибелах та відстань від початку лінії до цієї неоднорідності, які розраховуються рефлектометром автоматично.

Роз'ємні з'єднання у лінії характеризуються втратами на відбиття та поглинання. На рефлектограмі вони мають вигляд вузьких піків із одночасним зниженням рефлектограми, які характеризують відповідно втрати на відбиття та загасання у з'єднанні. Відстань до них від початку лінії та значення втрат відображаються на рефлектограмі та розраховуються автоматично.

Ділянки рефлектограми між неоднорідностями відповідають будівельним довжинам оптичного кабелю і мають вигляд прямих ліній з від'ємним нахилом. Кут нахилу цих прямих прямо пропорційний величині втрат у волокні і характеризується коефіцієнтом кілометричного загасання, який вимірюється в децибелах на кілометр.

Закінчення ВОЛЗ має вигляд вузького піка зі стрімким зниженням рефлектограми до шумів фотоприймача рефлектометра. Обов'язково на рефлектограмі у такому місці вказується довжина ВОЛЗ та відбиття (якщо воно має місце).

Для роботи з рефлектограмами використовується спеціальне програмне забезпечення, що постачається у комплекті з рефлектометром. За допомогою нього можна в «ручному» режимі більш точно проаналізувати втрати у неоднорідностях ВОЛЗ. Програмним забезпеченням можна користуватись окремо, без під'єднання рефлектометра. При цьому будуть виконуватись усі

його функції, крім режиму вимірювання. Відомою програмою для роботи з рефлектограмами є FiberTrace Software. На рис. 17 наведено головне вікно програми для роботи з рефлектограмами, розробленої білоруським Інститутом інформаційних технологій [17], яке складається з меню, панелі кнопок, інформаційної панелі, робочої області із рефлектограмою, інформації про вимірювання.

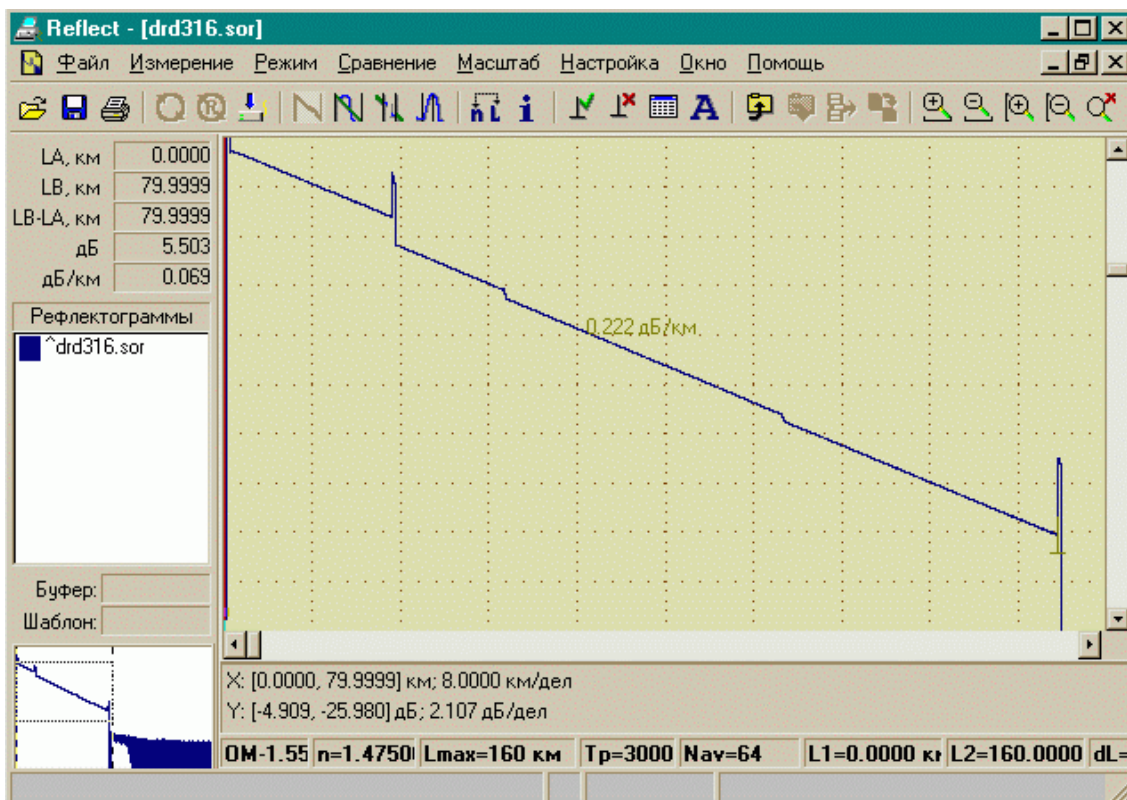


Рисунок 17 – Головне вікно програми для роботи з рефлектограмами

Інформаційна панель містить дані про результати вимірювання:

- положення лівого маркера (LA, км);
- положення правого маркера (LB, км);
- відстань між маркерами (LB-LA, км);
- загасання між маркерами (дБ);
- коефіцієнт загасання (дБ/км) або ORL.

Крім цього, відображається назва даної рефлектограми, ім'я файлу, що використовується як шаблон, а також перелік рефлектограм, що знаходяться у буфері програми.

Функція «Шаблон» використовується для швидкого аналізу і паспортизації ВОЛЗ. Вона містить велику кількість подій, позначених відповідними відмітками. За допомогою цієї функції оператор може переносити встановлені відмітки з однієї рефлектограми на іншу.

У лівій нижній частині головного вікна є так зване «оглядове» вікно, у якому відображається поточна рефлектограма та частина рефлектограми, яка знаходиться у робочій зоні на екрані після зміни масштабу.

Унизу головного вікна відображається така інформація:

- координати лівої та правої границь вікна по горизонталі і масштаб по горизонталі;
- координати верхньої та нижньої границь вікна по вертикалі і масштаб по вертикалі;
- параметри режиму вимірювання.

Аналіз подій та неоднорідностей на рефлектограмі може здійснюватись як в автоматичному, так і в ручному режимах.

Для аналізу в автоматичну режимі необхідно встановити порогові значення загасання або коефіцієнтів відбиття у відповідній таблиці (рис. 18, а), що знаходиться у меню програми «Режим → Пороговые значения...». Наприклад, якщо у таблиці порогових значень загасання у з'єднанні LT встановити 0,1 дБ, то на рефлектограмі будуть відображатись тільки ті з'єднання, значення яких в автоматичному режимі перевищують 0,1 дБ, аналогічно встановлюються порогові значення коефіцієнта відбиття RL, кінець OB – ET та значення кілометричного коефіцієнта загасання CT.

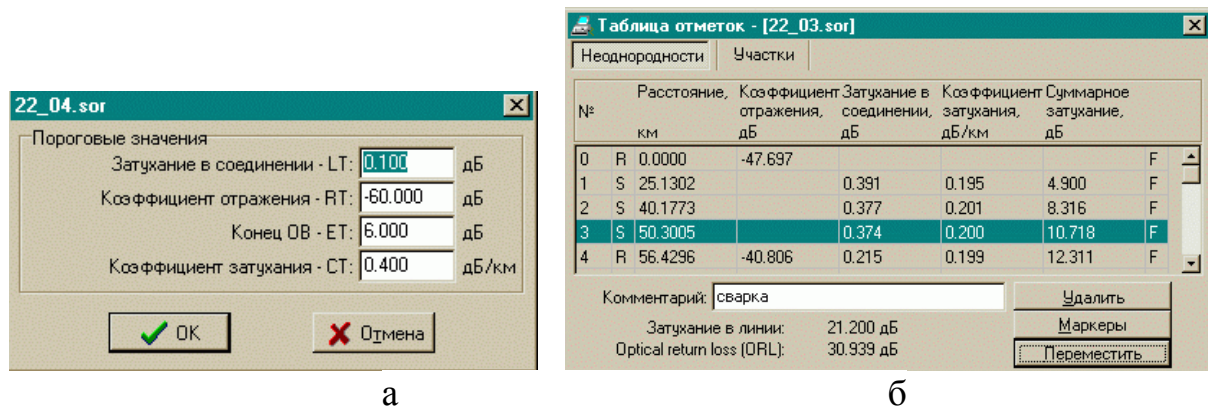


Рисунок 18 – Таблиці: а – порогових значень; б – відміток

У вікні з рефлектограмою всі події позначаються відповідними значками (відмітками) у нижній частині рефлектограми та відмітками на самій рефлектограмі із зазначенням відповідних числових значень, зокрема [17]:

- відстань до відмітки в кілометрах – вертикальний напис під відміткою без зазначення розмірності;
- величина коефіцієнта кілометричного загасання ділянки між маркерами (задається оператором) – горизонтальний напис під ділянкою, дБ/км;
- величина коефіцієнта загасання ділянки між сусідніми неоднорідностями – горизонтальні написи над відповідними ділянками, дБ/км;
- коефіцієнти відбиття (якщо має місце) і загасання – горизонтальні написи над неоднорідністю, дБ.

Усі події рефлектограми заносяться до таблиці відміток, яка відкривається у пункті меню «Режим → Таблица отметок» або натисканням кнопки



чи кнопки T на клавіатурі (рис. 18, б). У цій таблиці відображаються:

- номер неоднорідності за порядком;
- тип неоднорідності:
- R – неоднорідність «з відбиттям», коли коефіцієнт відбиття більший порогового значення незалежно від загасання у неоднорідності;
- S – неоднорідність «без відбиття», коли коефіцієнт загасання більший, а коефіцієнт відбиття менший відповідних порогових значень;
- відстань від початку ОВ до поточної неоднорідності, км;
- коефіцієнт відбиття у неоднорідності, дБ;
- загасання у неоднорідності, дБ;
- коефіцієнт кілометричного загасання ділянки між сусідніми неоднорідностями, дБ/км;
- сумарне загасання ОВ від початку до поточної неоднорідності, дБ;
- код або умовне позначення події на рефлектограмі.

Необхідно зазначити, що у лініях відносно великої довжини дальні ділянки рефлектограми спотворюються шумами, їх автоматичний аналіз може бути неточним. Тому ці ділянки необхідно аналізувати «вручну». Для цього використовуються такі методи:

- вимірювання загасання за двома точками;
- вимірювання загасання з апроксимацією рефлектограми прямою лінією;
- вимірювання загасання у зварному з'єднанні ОВ;
- вимірювання коефіцієнта відбиття;
- вимірювання ORL.

Для аналізу подій на рефлектограмі використовуються два вертикальних маркери: лівий та правий, положення яких відносно початку ОВ відображаються у двох перших комірках інформаційної панелі.

Для більш точного аналізу подій оптичної лінії зв'язку рекомендується розтягнути рефлектограму по горизонталі, вертикалі та виконати аналіз у ручному режимі.

Для вимірювання відстані до неоднорідності маркер встановлюється на її лівий край, а відстань визначається за відповідною коміркою таблиці інформаційної панелі. Границі допустимого значення абсолютної похибки вимірювання відстані становлять:

$$\Delta L = \pm (dl + dL + L \cdot \Delta n/n + 5 \cdot 10^{-5} \cdot L), \quad (7)$$

де $dl = 0,3$ м;

dL – інтервал дискретизації сигналу зворотного розсіювання, м; величина dL набуває значення 0,5; 1; 3; 6; 12 і 18 м і вибирається з набору допустимих значень, що залежить від встановленого діапазону вимірюваної відстані та довжини вимірюваної ділянки ОВ;

L – довжина ОВ, м;

n – показник заломлення ОВ;


Δn – похибка, з якою відомий показник заломлення для вимірюваного ОВ.

Величина n може встановлюватись у діапазоні від 1,00000 до 2,00000 з кроком 0,00001. З виразів (6) та (7) точність визначення оптичної відстані за рефлектограмою залежить від правильності встановлення показника заломлення ОВ, значення якого береться з паспорта на даний ОК.

Необхідно зазначити, що з допомогою рефлектограми вимірюється оптична довжина волокна, яка є більшою від фізичної довжини кабелю. Це пов'язано з тим, що у кабелі ОВ знаходяться у модульних трубках, що під час будівельних і монтажних робіт зменшує навантаження безпосередньо на ОВ. Крім цього, оптичний сигнал у серцевині волокна поширюється за певною траєкторією, відбиваючись від межі поділу середовищ серцевина–оболонка. У результаті оптичний рефлектометр за формулою (6) вимірює довжину траєкторії поширення оптичного сигналу. Тому коефіцієнт KL розраховують як відношення між оптичною та фізичною довжинами за формулою:

$$KL=L_{opt}/L_{физ} \quad (8)$$

де L_{opt} та $L_{физ}$ – оптична довжина волокна та фізична довжина кабелю, відповідно.

Для вимірювання загасання певної ділянки ОВ та її довжини використовується метод вимірювання загасання за двома точками. Для цього необхідно лівий та правий маркери встановити на кінцях ділянки, яку необхідно проаналізувати та вибрати в меню «Режим → Измерение затухания по двум точкам» або натиснути кнопку  чи на комп'ютерній клавіатурі кнопку P (рис. 19). Результати відображаються у таблиці інформаційної панелі у комірках, де вказуються довжина ділянки LB-LA в кілометрах, значення загасання між точками перетину маркерів з рефлектограмою в децибелах, а також величина коефіцієнта загасання в децибелах на кілометр. Для вимірювання загасання всього ОВ лівий маркер повинен бути встановлений за межами мертвої зони.

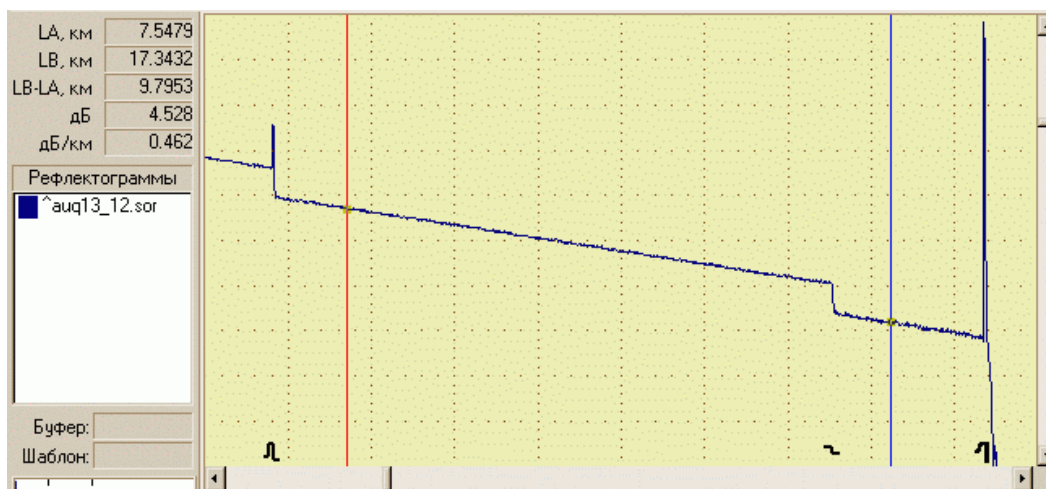



Рисунок 19 – Визначення параметрів ділянки ОВ методом двох точок

Для підвищення точності вимірювання загасання ділянка рефлектограми між маркерами може бути апроксимована прямою лінією. Реалізація цього режиму забезпечується вибором пункту меню «Режим → Измерение затухания с аппроксимацией» або натисканням кнопки  чи кнопки R на клавіатурі. При цьому апроксимувальна пряма відображається на екрані (рис. 20), а відповідні результати вимірювання загасання з урахуванням апроксимації відображаються у четвертій та п'ятій комірках таблиці інформаційної панелі. Вимірювання з апроксимацією варто застосовувати під час аналізу однорідних ділянок ОВ, що не містять роз'ємних та нероз'ємних з'єднань.

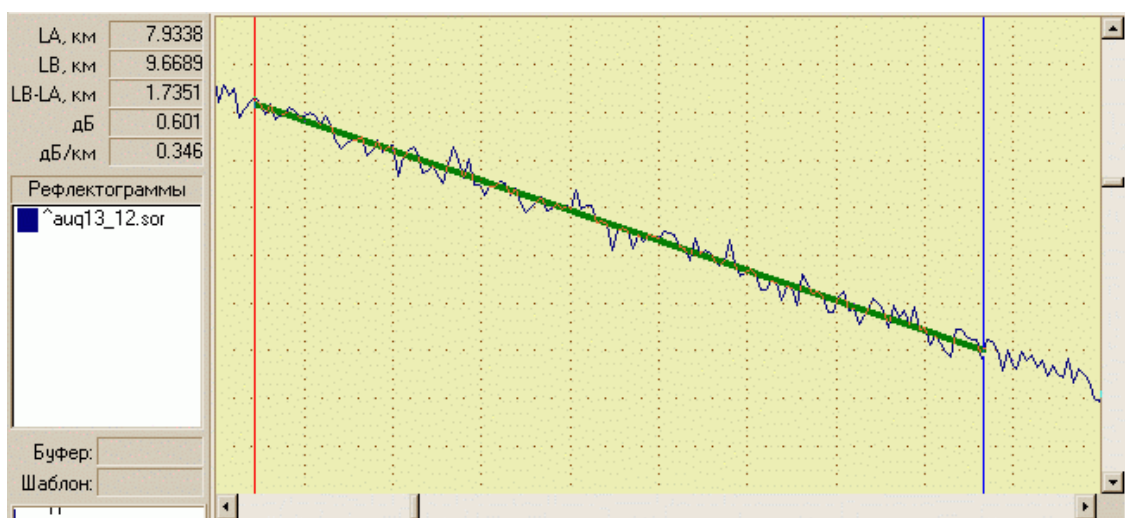



Рисунок 20 – Вимірювання загасання ділянки ОВ із застосуванням апроксимації

Для визначення втрат на загасання у місці з'єднання ОВ, а також відстані до цього місця від початку лінії, використовується метод п'яти точок. Для цього маркери встановлюються поблизу місця з'єднання таким чином, щоб воно знаходилося по середині між маркерами (рис. 21). Після цього необхідно вибрати пункт меню «Режим → Затухание в соединении ОВ» або натиснути кнопку  чи кнопку S. При цьому ділянки певної довжини лівіше лівого та правіше правого маркерів апроксимуються прямими лініями. На рефлектограмі місце з'єднання позначається вертикальним маркером-стовпчиком, а ділянки апроксимації – жирними лініями, які, за змоги, повинні мати максимальну довжину і бути однорідними. Результат вимірювання відображається у четвертій та п'ятій комірках таблиці інформаційної панелі: Spl, дБ – загасання у з'єднанні, Spl, км – відстань від початку ОВ до місця з'єднання (до центрального маркера-стовпчика). Границя допустимої абсолютної похибки під час вимірювання загасання становить не більше $\pm(0,05\alpha)$ дБ, де α – виміряне загасання, дБ.

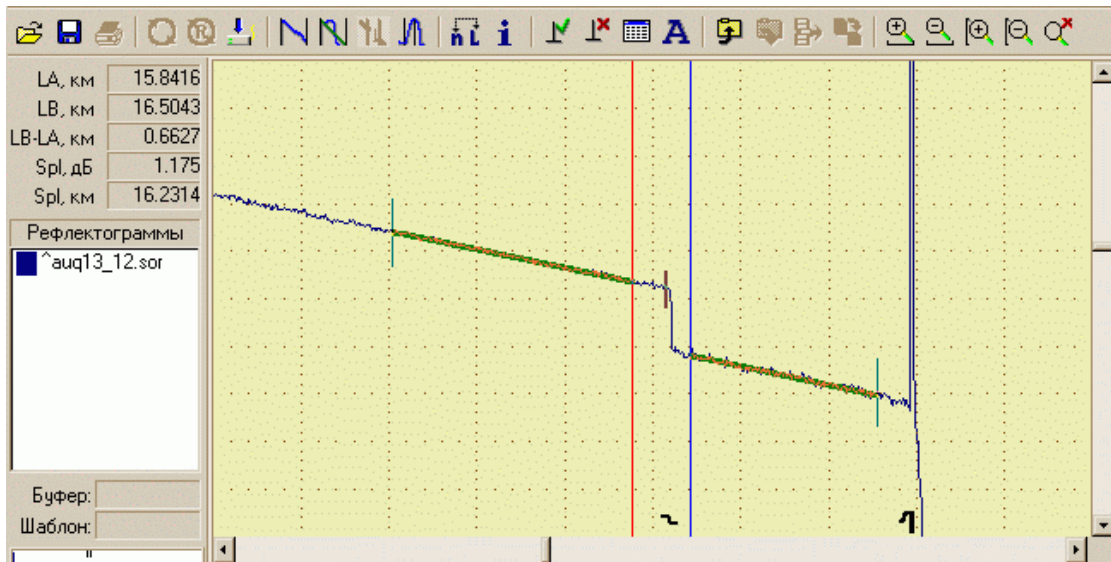



Рисунок 21 – Вимірювання загасання у місці з'єднання ОВ та відстані до цього місця методом п'яти точок

Для вимірювання коефіцієнта відбиття R у роз'ємному з'єднанні ОВ в кінці лінії необхідно правий маркер встановити у вершині відбитого імпульсу, а лівий – на ділянку рефлектограми безпосередньо перед ним (рис. 22). Після цього необхідно натиснути кнопку  чи кнопку R на клавіатурі або вибрати пункт меню «Режим → Коэффициент отражения». Результати вимірювання відображаються у четвертій та п'ятій комірках таблиці інформаційної панелі: R , дБ – коефіцієнт відбиття; R , км – відстань від початку ОВ до лівого маркера.

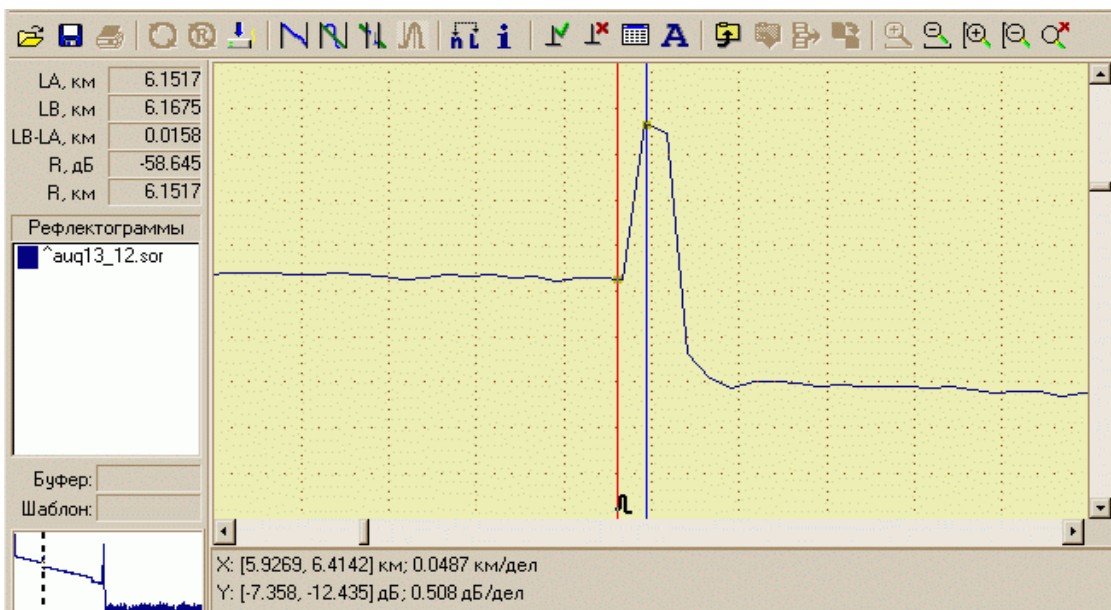


Рисунок 22 – Визначення коефіцієнта відбиття у місці роз'ємного з'єднання ОВ

ORL (optical return loss) – це відношення оптичної потужності, що надходить у ОВ, до потужності, що повертається на початок ОВ від вибраної ділянки або всієї оптичної лінії. Для вимірювання ORL необхідно встановити маркери на кінцях вимірювальної ділянки та натиснути на клавіатурі О або вибрати пункт меню «Режим → ORL» (рис. 23). Результат вимірювання ORL відображається у п'ятій комірці таблиці інформаційної панелі, розмірність – децибели.

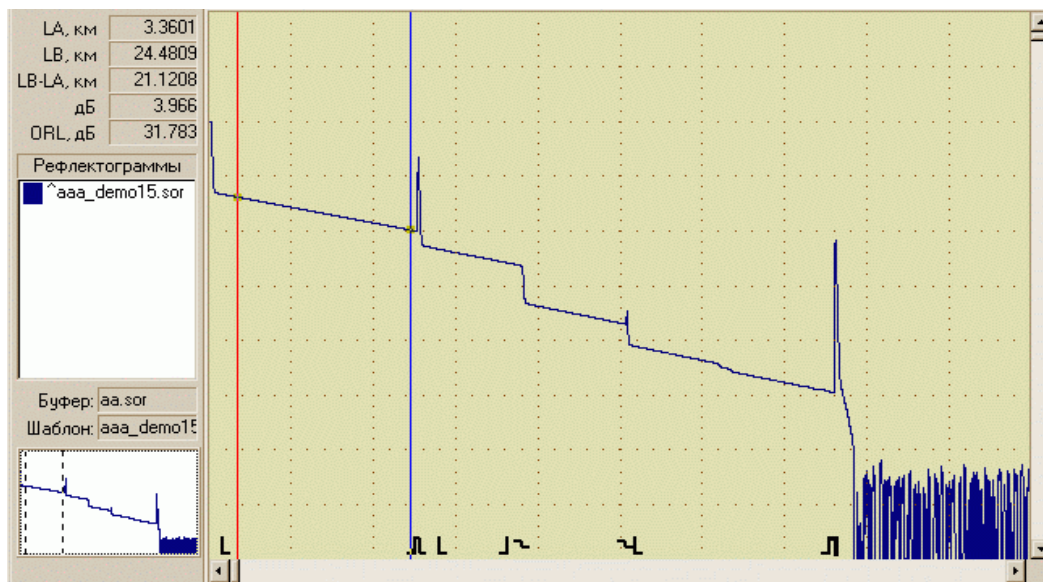


Рисунок 23 – Вимірювання ORL

Хід роботи

1. Вивчити принцип роботи рефлектометра, ознайомитись з інструкцією з експлуатації рефлектометра та програмним забезпечення для аналізу рефлектограм.

2. Вивчити структуру ВОЛЗ на стенді та схему розварки оптичних волокон. Визначити номери досліджуваних волокон відповідно до порядкових номерів студентів у групі.

3. Підготувати рефлектометр до роботи. За допомогою патчкорда під'єднати рефлектометр до визначених номерів волокон ВОЛЗ. Задати основні параметри вимірювання рефлектометра:

- довжини хвиль вимірювання;
- тривалість вимірювального імпульсу;
- значення показника заломлення ОВ;
- діапазон вимірювання довжини лінії;
- час усереднення;
- порогові значення загасання у місцях з'єднання ОВ, коефіцієнт відбиття, коефіцієнт кілометричного загасання.

4. Вимірювання оптичних волокон ВОЛЗ виконати у двох напрямках та на двох довжинах хвиль 1550 нм та 1310 нм. Отримані рефлектограми зберегти на змінному носії для подальшого аналізу та занесення до звіту роботи.

5. За допомогою ПК та програмного забезпечення відкрити отримані рефлектограми та виконати аналіз її основних подій:

- визначити оптичну довжину ВОЛЗ методом двох точок;
- виміряти довжину мертвої зони;
- виміряти коефіцієнт кілометричного загасання на ділянках між неоднорідностями ВОЛЗ;
- виміряти втрати у зварних з'єднаннях методом п'яти точок;
- виміряти відбиття у конекторах ВОЛЗ;
- визначити ORL.

6. Результати вимірювання занести до табл. 1 та порівняти їх із відповідними результатами, отриманими в автоматичному режимі.

Таблиця 1 – Результати вимірювання ВОЛЗ з допомогою рефлектометра

Довжина хвилі, нм	№ події	Позначення події	Відстань до події, км	Коефіцієнт відбиття, дБ	Загасання, дБ	Коеф. кілометричного загасання, дБ/км	Сумарне загасання, дБ
1310	...						
1550	...						

7. Зробити висновки.

Устаткування

1. Навчальний стенд ВОЛЗ.
2. З'єднувальні одномодові та багатомодові патчкорди FC/PC, SC/PC та E200/ PC.
3. Оптичний рефлектометр.

Зміст звіту

1. Титульна сторінка із назвою дисципліни та темою лабораторної роботи.
2. Мета роботи, завдання та основні задачі, які необхідно вирішити у даній лабораторній роботі.
3. Короткі теоретичні відомості про принцип роботи рефлектометра, його структурна схема, основні події на рефлектограмі та методи їх аналізу й вимірювання.
4. У ході роботи необхідно зобразити схему вимірювання ВОЛЗ, отримані рефлектограми, таблицю із результатами вимірювання. Виконати порівняльний аналіз отриманих результатів вимірювання із відповідним нормованими значеннями. Якщо виникає невідповідність деяких параметрів нормованим значенням, то необхідно пояснити причини, які призвели до погіршення цих параметрів ВОЛЗ.
5. Висновки.

Контрольні питання

1. Принцип роботи оптичного імпульсного рефлектометра та основні параметри ВОЛЗ, які вимірюються цим приладом.
2. Релеївське розсіювання та френелівське відбиття.
3. Динамічний діапазон оптичного рефлектометра.
4. Види та призначення оптичних рефлектометрів.
5. Використання рефлектометра на етапах будівництва, монтажу та експлуатації ВОЛЗ.
6. Структурна схема та основні елементи рефлектометра.
7. Налаштування параметрів вимірюванням рефлектометра та встановлення порогових значень.
8. Режими вимірювання ОВ рефлектометром.
9. Рефлектограма та автоматичний аналіз її основних подій.
10. Мертва зона рефлектограми та її компенсація.
11. Оптична та фізична довжини ВОЛЗ.
12. Вимірювання втрат у зварних та роз'ємних з'єднаннях ОВ методом п'яти точок.
13. Вимірювання коефіцієнта кілометричного загасання та сумарного загасання методом двох точок та з допомогою апроксимації.
14. Вимірювання коефіцієнта відбиття у роз'ємних з'єднаннях на початку та в кінці лінії.
15. Вимірювання ORL.

Лабораторна робота № 3

Дослідження зварних з'єднань волоконно-оптичних ліній зв'язку

Мета: ознайомитись з принципом роботи зварювального апарата, розглянути основи теорії та практики оцінювання втрат у місці зварного з'єднання ОВ.

Теоретичні відомості

Зварні з'єднання ОВ є невід'ємною складовою сучасних оптичних транспортних мереж зв'язку. Зварювання ОВ широко застосовується під час монтажу муфт для з'єднання будівельних довжин оптичних кабелів та монтажу кінцевих оптичних кросів ODF для під'єднання обладнання та комутації волокон.

Основним критерієм якості зварного з'єднання є загасання або втрати оптичної потужності сигналу у місці з'єднання ОВ. Особливо вплив загасання у зварних з'єднаннях стає відчутним у магістральних оптичних мережах, коли втрати у з'єднанні стають сумірними або перевищують кілометричне загасання ОВ. Враховуючи велику ємність волокон у сучасних оптичних кабелях, кількість зварних з'єднань на регенераційній ділянці оптичної лінії зв'язку може бути нараховувана сотнями і тисячами. А це в свою чергу накладає певні обмеження на швидкість і дальність роботи систем передачі. Тому до якості зварних з'єднань ОВ висуваються жорсткі вимоги, зокрема, на магістральних ВОЛЗ.

Для автоматизації процесу зварювання ОВ і забезпечення належної якості зварних з'єднань застосовуються спеціальні зварювальні апарати (рис. 24). У них застосовуються системи автоматичного юстування (вирівнювання) ОВ та контролю якості зварного з'єднання, що дають можливість одержувати загасання у зварних з'єднаннях ОВ, як правило, не більше ніж 0,02 дБ. Виробниками сучасних зварювальних апаратів є такі японські компанії як Fujikura, Furukava, Sumitomo тощо (рис. 24).

Розглянемо особливості основних етапів зварювання ОВ та фактори, що впливають на загасання у місці їх з'єднання.

Процес зварювання ОВ виконується у декілька етапів [22]. На підготовчому етапі з кінців ОВ № 1 та № 2 знімається захисне покриття механічним способом, їх поверхня очищується етиловим спиртом від залишків покриття, бруду та пилу, з допомогою механічних чи електричних пристроїв для сколювання волокон робиться скол торців перпендикулярно до осі волокна. Після цього ОВ встановлюються у спеціальні V-подібні напрямні юстувального пристрою між електродами 1 та 2 (рис. 25, а), де виконується юстування торців ОВ у двох взаємно перпендикулярних площинах та контроль якості сколу. Здійснюється попереднє оплавлення торців ОВ (fire cleaning) з метою ліквідації мікронерівностей, що виникають на торцевих поверхнях під час сколювання ОВ.



Рисунок 24 – Апарати для зварювання ОВ:
 а – Fujikura FSM 80S; б – Furukava Fitel S178A; в – Sumitomo TYPE-71

Основним етапом є безпосередньо процес зварювання ОВ. Для цього між електродами 1 та 2 створюється електричний дуговий розряд заданої тривалості та потужності. У полі електричного розряду торці оптичних волокон розігріваються до температури плавлення (1600 °C – 2000 °C), що приводить до їх округлення (рис. 25, б). Після цього оптичні волокна подаються на зустріч один одному, у результаті чого відбувається їх з'єднання (рис. 25, в). Місце з'єднання волокна під дією сил поверхневого натягу вирівнюється та набуває геометричної форми оптичного волокна (рис. 25, г).

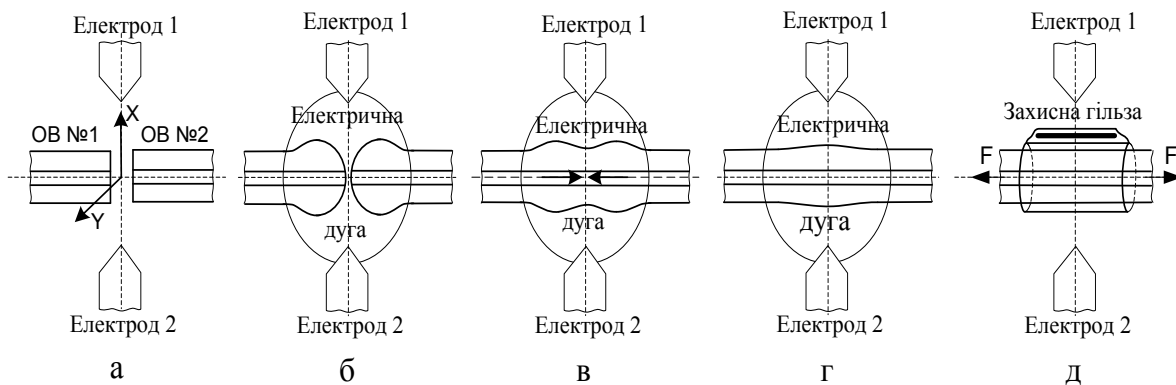


Рисунок 25 – Етапи зварювання ОВ: а – юстування ОВ;
 б – округлення розплавлених торців ОВ; в – зведення ОВ;
 г – з'єднання ОВ; д – перевірка на міцність та захист зварного з'єднання

На завершальному етапі здійснюється контроль якості зварного з'єднання ОВ. За результатами тестування оцінюються оптичні та геометричні параметри ОВ у місці з'єднання, перевіряється його міцність на розтягнення зусиллям F (200..450 г). Якщо параметри зварного з'єднання знаходяться в межах норми, тоді виконується його захист від зовнішніх впливів герметизувальною трубкою (гільзою), термоусаджування якої здійснюється у спеціальній печі (рис. 25, д). Після цього захисна гільза та техноло-

гічний запас ОВ розміщується на спеціальній касеті у муфті або кінцевому оптичному кросі (ODF).

Втрати у місці з'єднання ОВ мають відповідати допустимим нормам, обумовленим проектом та нормативними документами. Зокрема, згідно з КНД-45-141-99 втрати у місці зварного з'єднання одномодових ОВ магістральної лінії зв'язку мають становити 0,1 дБ (70% від загальної кількості зварних з'єднань) та 0,15 дБ (30% від загальної кількості зварних з'єднань). Допускається збільшення оптичних втрат у зварному з'єднанні до 0,2 дБ на оптичних лініях місцевих мереж зв'язку. Для багатомодових ОВ загасання в місці зварювання ОВ має становити не більше 0,3 дБ (70% від загальної кількості зварних з'єднань). Допускається максимальне загасання в місці зварювання ОВ – 0,5 дБ (30% від загальної кількості) за умови компенсації цього перевищення на інших зварних з'єднаннях даного ОВ.

На практиці загасання у зварних з'єднаннях пов'язують з:

- відхиленнями геометричних та/або оптичних параметрів ОВ, що зварюються;
- порушенням технології зварювання ОВ;
- некоректністю оцінювання якості та вимірювання загасання у зварному з'єднанні та інтерпретації їх результатів.

Відхилення геометричних та оптичних параметрів ОВ ускладнюють процес юстування та зварювання ОВ. Через відмінності серцевин та оболонок з'єднувальних волокон сили поверхневого натягу в місці з'єднання діють нерівномірно, що призводить до зміщення оптичних волокон і деформації зварного з'єднання. У результаті сигнал у такому з'єднанні буде зазнавати послаблення оптичної потужності.

Відхилення геометричних та оптичних параметрів волокон можуть виникати як під час виготовлення ОВ, так і в результаті їх довготривалої експлуатації. Під час виготовлення ОВ діаметр його серцевини та оболонки може змінюватись або набувати еліптичної форми. Крім цього, серцевина може зміщуватись відносно центральної осі оболонки – ексцентриситету (рис. 26, а та рис. 26, б). Завод-виробник ОВ у супровідній документації вказує, у яких межах може змінюватись той чи інший параметр ОВ. Наприклад, згідно з нормами діаметр серцевини може змінюватись у межах 2..3 мкм, а діаметр оболонки – 4..5 мкм. У результаті зварювання таких волокон частина оптичного випромінювання, проходячи через зварне з'єднання, потрапляє у оборонку волокна і загасає (рис. 27).

Крім розглянутого вище, параметри ОВ можуть змінюватись (деградувати) у процесі експлуатації під дією зовнішніх механічних та хімічних впливів. Наприклад, надлишкова напруженість ОВ, яка виникає через натягування або перегин оптичного кабелю, призводить до виникнення мікротріщин та деформації структури ОВ. А контакт ОВ з вологою або іншими хімічними речовинами призводить до зміни таких оптичних параметрів, як діаметр модового поля та коефіцієнт заломлення оптичних променів.

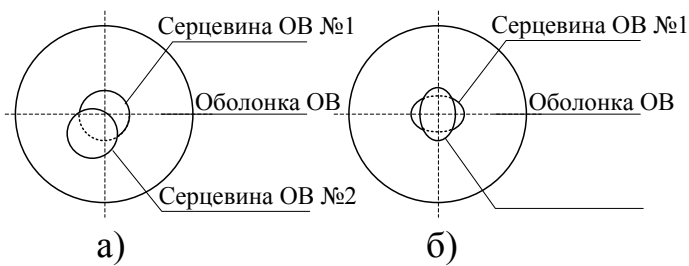


Рисунок 26 – Відхилення геометричних параметрів серцевин ОВ:
 а) – ексцентриситет серцевин;
 б) – еліптичність серцевин

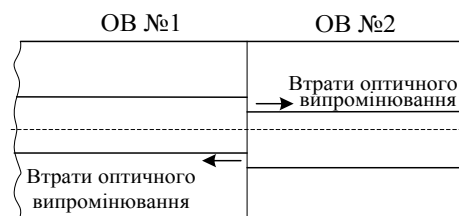


Рисунок 27 – Втрати оптичного випромінювання через геометричні відмінності параметрів їх серцевин

Окремо необхідно зазначити про труднощі зварювання ОВ одного типу, але різних заводів-виробників. Такі волокна відрізняються технологіями виготовлення та якістю матеріалів. Справа в тому, що ОВ різних виробників виготовляються з використанням принципово відмінних один від одного технологічних процесів. У результаті матеріал ОВ – кварцове скло – не є ідентичним у волокнах різного походження, незважаючи на те, що параметри ОВ, вказані у специфікаціях заводів-виробників, відрізняються несуттєво. У таких волокон відрізняються коефіцієнт теплового розширення, показник заломлення, в'язкість, механічні характеристики. Ці параметри визначають оптичні втрати в місцях з'єднання і повинні враховуватись під час зварювання та оцінювання загасання.

Під час зварювання ОВ з різними геометричними параметрами ускладнюється процес юстування ОВ. Розрізняють юстування ОВ за оболонкою або за серцевиною ОВ. Юстування за оболонкою – пасивний вид юстування, який здійснюється з допомогою V-подібних напрямних, у яких знаходяться кінці ОВ, що з'єднуються. Як правило, такий вид юстування застосовується, коли не висуваються високі вимоги до внесених втрат, зокрема при з'єднанні багатомодових ОВ на місцевих лініях зв'язку. Для отримання високоякісних зварних з'єднань необхідно виконувати юстування за серцевиною автоматично з допомогою мікропроцесора, шагових двигунів і прецизійних елементів привода (як правило, на основі п'єзоефекту), забезпечуючи позиціонування за трьома напрямками: по горизонталі, по вертикалі та вздовж осі. Юстування за серцевиною забезпечує менші втрати і використовується при з'єднанні одномодових ОВ як на магістральних, так і на місцевих оптичних лініях зв'язку.

У сучасних зварювальних апаратах здійснюється автоматичне вирівнювання за серцевиною та оцінювання втрат у зварних з'єднаннях волокон. Найбільшого поширення набули такі системи юстування та контролю оптико-геометричних параметрів волокон, як Local Light Injection and Detection (LID) та Profile Alignment System (PAS).

Розроблена американською компанією Corning система LID здійснює юстування на основі даних про максимальну інтенсивність оптичного сигналу, що проходить через місце з'єднання ОВ. Для цього оптичне випро-

мінювання вводиться у серцевину першого ОВ та після проходження місця з'єднання волокон приймається з серцевини другого волокна (рис. 28). При цьому введення та виведення оптичного випромінювання здійснюється з допомогою відповідних діодів у місцях вигину ОВ. Необхідна форма вигину ОВ забезпечується спеціальними фіксаторами, які, крім цього, притискають волокна до випромінювача та приймача оптичного сигналу. Взаємне зміщення волокон у площинах Х та Y відбувається до тих пір, поки не буде отримано максимальний рівень проходження оптичного сигналу через місце з'єднання. Таким чином, система LID забезпечує максимально точне юстування ОВ за серцевиною. Процес зварювання ОВ контролюється автоматичною системою управління часом зварювання (AFCTM). Система AFCTM задає таку тривалість електричної дуги, протягом якої інтенсивність оптичного випромінювання залишається на максимальному рівні. У процесі зварювання під дією сил поверхневого натягу відбувається ефект самоцентрування, що призводить до зміщення ОВ, деформації та появи загасання у місці з'єднання. Контролюючи максимальний рівень сигналу, система AFCTM припиняє процес зварювання перед початком деформації зварного з'єднання силами поверхневого натягу.

Основною перевагою системи LID можна вважати пряме вимірювання втрат у місці з'єднання ОВ в режимі реального часу. До недоліків LID-системи відносять складність процесу введення та виведення оптичного сигналу у серцевину ОВ, зокрема зі складним профілем показника заломлення. LID-система використовується у зварювальних апаратах фірми Siemens RXS, Corning Vision та ін.

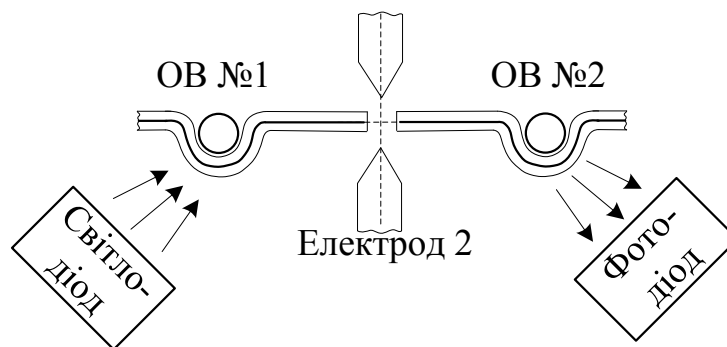


Рисунок 28 – LID-система

Проте найбільшого поширення набула система PAS (рис. 29), яка розроблена японською компанією Fujikura. Вона виконує юстування (вирівнювання ОВ) за профілем яскравості ОВ. Промені колімованого некогерентного випромінювання, просвічуючи ОВ, потрапляють на об'єктив відеокамери, на задній частині якої знаходиться детектор-матриця, на ній формується зображення профілю яскравості ОВ. На рис. 29 лінза – це об'єктив камери, яка фокусує збільшене зображення, тому її називають мікроскопом. Яскравість світла, що вимірюється детектором, змінюється у попере-

чному перерізі волокна, оскільки показники заломлення серцевини та оболонки відрізняються. Частина променів заломлюється на межі поділу середовищ серцевина–оболонка, внаслідок чого у невеликій області за серцевиною виникають провали у розподілі щільності світлової енергії, котрі у площині зображення виглядають як темні лінії на світлому фоні. У результаті формуються зображення, на яких видно границі оболонок та серцевин ОВ. Юстування ОВ полягає у суміщенні темних ліній, що відповідають границям серцевин з'єднувальних ОВ. За допомогою дзеркал отримується зображення профілів волокон у двох взаємно перпендикулярних площинах. Це забезпечує вирівнювання ОВ у площинах X та Y. Зображення волокон виводиться з детектора на монітор, де його може спостерігати оператор. На основі отриманого зображення за допомогою системи APDS (Automatic Profile Detection System) автоматично визначається тип оптичного волокна за профілем його яскравості та розраховуються параметри процесу зварювання. А після дугового розряду оцінюються втрати у місці зварного з'єднання з підвищеною точністю за допомогою системи HDCM (High Definition Core Monitoring). Таким чином у системі PAS юстування виконується спочатку за оболонкою ОВ, а потім за його серцевиною. До недоліків PAS-системи слід віднести опосередкованість визначення загасання у місці зварного з'єднання. Система PAS застосовується у зварювальних апаратах японських компаній Furukawa S 175 і Fujikura FSM-50S, а система APDS та HDCM в апаратах Sumitomo Type-36 і Type-37.

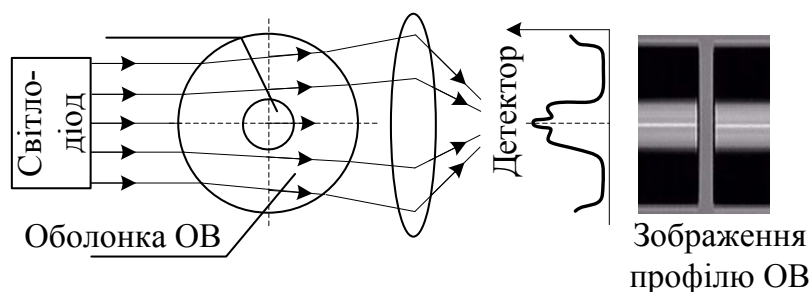


Рисунок 29 – PAS-система

При дотриманні всіх необхідних технологічних умов виробники зварювальних апаратів гарантують високу якість та мінімальні втрати у зварному з'єднанні. Але в екстремальних умовах, наприклад, під дією несприятливих погодних умов або в аварійних ситуація досить часто виникає погіршення якості зварних з'єднань, які зумовлені порушенням технології зварювання ОВ через недостатню індивідуальну майстерність або досвідченість оператора, що виконує зварювання.

Усі сучасні зварювальні апарати обладнані спеціальними цифровими камерами та моніторами, за допомогою яких відображається інформація про налаштування зварювального апарата, параметри ОВ тощо. Вони дають можливість візуально контролювати основні етапи процесу зварювання та аналізувати інформацію про параметри ОВ.

На початковому етапі необхідно виконати адаптацію зварювального апарата до умов виконання робіт. Вплив таких зовнішніх факторів, як низька температура, підвищена вологість, зміна атмосферного тиску призводять до зміни параметрів електричної дуги: потужність, тривалість тощо. Крім цього, у процесі експлуатації зварювального апарата відбувається старіння електродів, яке призводить до зміщення електричної дуги відносно координати, на яку виводяться кінці ОВ перед зварюванням. У сучасних зварювальних апаратах передбачена функція Arcstest, за допомогою якої автоматично або вручну здійснюється корекція електричної дуги. У результаті зварювальний апарат підводить волокна в поле електричного дугового розряду із оптимальною потужністю та тривалістю.

Крім корекції електричної дуги, у сучасних зварювальних апаратах передбачено калібрування моторів для високоточного юстування ОВ, самотестування фокусів камер тощо. Також є можливість як автоматично, так і вручну вибрати той чи інший режим зварювання, який враховує тип та структуру зварюваних волокон.

На етапі підготовки волокон оператор має можливість проаналізувати інформацію про кути сколу ОВ, їх геометричні відхилення, тип зварюваних волокон, візуально оцінити якість підготовки торцевих поверхонь. Якщо якийсь із параметрів підготовки незадовільний, то необхідно виконати повторне пересколювання ОВ, очищення кінців волокон від бруду та пилу або змінити позицію волокон шляхом осьового прокручування у напрямних фіксаторах зварювального апарата.

Під час електричного розряду оператор має можливість спостерігати безпосередньо за процесом сплавлення ОВ. Необхідно зазначити, що якість зварного з'єднання напряму залежить від однорідності процесу сплавлення у полі розряду електричної дуги. Якщо в момент сплавлення ОВ спостерігаються візуальні дефекти, такі як шов між волокнами, окремі плями, спалахи або інші неоднорідності, які на фоні однорідного поля дугового розряду візуально виділяються більш яскравим світінням, тоді дуговий електричний розряд можна вважати неоднорідним. У результаті такого сплавлення суттєво погіршується якість зварного з'єднання, що проявляється у збільшенні загасання під час рефлектометричних вимірювань ОВ [23].

На завершальному етапі оператор має можливість у площинах X та Y обстежити місце зварного з'єднання, проаналізувати геометричні параметри ОВ після сплавлення й значення загасання у місці зварного з'єднання. Сучасні зварювальні апарати виконують контроль якості зварного з'єднання. Оцінюється загасання оптичного сигналу та механічна стійкість на розтягнення зварного з'єднання. Пряме вимірювання втрат безпосередньо з допомогою зварювального апарата можливе тільки при використанні LID-системи. Але при цьому необхідне корегування результатів вимірювання з урахуванням інтерференційних ефектів на торцевих поверхнях волокон, що не забезпечує абсолютної точності визначення втрат у місці з'єднання. При юстуванні волокон за зображенням яскравості їх профілю

втрати у місці з'єднання волокон не вимірюються, а оцінюються величини цих втрат з допомогою системи HDCM. Вдалось досягти того, що оцінювання втрат практично збігаються з істинними втратами [24]. Тому для визначення втрат необхідно виконати вимірювання за допомогою оптичного рефлектометра або тестерів [25].

Хід роботи

1. Ознайомитись з інструкцією з експлуатації зварювального апарата. Вивчити послідовність дій при зварюванні ОВ.

2. Увімкнути зварювальний апарат, вибрати режим зварювання, запустити процес самотестування зварювального апарата, за потреби здійснити калібрування його моторів та дуги.

3. Відкрити муфту на стенді ВОЛЗ. На касеті знайти ОВ, номер якого відповідає останній цифрі залікової книжки студента та підготувати необхідний технологічний запас для зварювання, довжина якого не повинна бути меншою 1 м. На одне із волокон надіти захисну гільзу.

4. З допомогою механічного стрипера зняти захисне покриття із волокон довжиною 2–3см, протерти етиловим спиртом від залишків бруду та фарби. З допомогою механічного сколювача виконати сколювання ОВ.

5. Розмістити оптичні волокна у зварювальному апараті. Виконати юстування волокон. Оцінити якість підготовки торців та параметри ОВ перед зварюванням (кут сколювання, відмінності геометричних розмірів ОВ).

6. Виконати зварювання ОВ. При цьому візуально спостерігати за характером процесу сплавлення волокон (однорідний чи неоднорідний) у полі розряду електричної дуги.

7. Проаналізувати параметри зварного з'єднання після процесу зварювання. Результати оцінювання кутів сколу, геометричних відхилень ОВ та загасання у зварному з'єднанні занести до табл. 2. Виконати перевірку зварного з'єднання на міцність.

Таблиця 2 – Результати виконання зварних з'єднань

№ ОВ	Тип ОВ	Кути сколу ОВ		Геометричні параметри до зварювання		Геометричні параметри після зварюванням		Загасання, дБ	Характер процесу сплавлення
		Ліве, град	Праве, град	Серцевина, мкм	Оболонка, мкм	Серцевина, мкм	Оболонка, мкм		

8. Захистити місце зварного з'єднання гільзою та виконати термоусадкування у печі зварювального апарата. Після цього розмістити гільзу зі

зварним з'єднанням у відповідній комірці на касеті та викласти технологічний запас на касеті муфти. Закрити муфту.

Устаткування

1. Навчальний стенд ВОЛЗ.
2. Механічний сколювач ОВ, стріпер, етиловий спирт, безворсові серветки, захисні гільзи.
3. Апарат для зварювання ОВ.

Зміст звіту

1. Титульна сторінка із назвою дисципліни та темою лабораторної роботи.
2. Мета роботи, завдання та основні задачі, які необхідно вирішити у даній лабораторній роботі.
3. У теоретичних відомостях необхідно дати стисло характеристику зварним з'єднанням. Пояснити основні методи та засоби, які використовуються для виконання та оцінювання зварних з'єднань.
4. У ході роботи необхідно зобразити схему розварки ОВ на стенді ВОЛЗ, пояснити основні етапи підготовки ОВ, їх зварювання та тестування, таблицю із результатами зварювання. Виконати порівняльний аналіз отриманих результатів вимірювання із відповідними нормованими значеннями.
5. Висновки.

Контрольні питання

1. Переваги та недоліки зварних з'єднань. Галузь їх застосування. Критерії якості зварних з'єднань.
2. Принцип роботи та параметри зварювальних апаратів.
3. Основні етапи підготовки до зварювання ОВ.
4. Норми на загасання у зварних з'єднаннях ОВ.
5. Поясніть механізм втрат та причини їх виникнення при геометричних та оптичних відхиленнях параметрів ОВ.
6. Що таке юстування ОВ? Як воно здійснюється? Які фактори ускладнюють юстування?
7. Порівняльний аналіз систем LID та PAS.
8. Які порушення технології зварювання ОВ виникають та причини їх виникнення?
9. Як параметри та характер електричної дуги впливають на якість зварного з'єднання?
10. Методи контролю якості зварних з'єднань. Інтерпретація результатів оцінювання та вимірювання загасання у зварних з'єднаннях.
11. Адаптація зварювального апарата та калібрування.

Лабораторна робота № 4 **Дослідження роз'ємних з'єднань** **волоконно-оптичних ліній зв'язку**

Мета: ознайомитись з конструкцією та принципом роботи роз'ємних з'єднань, розглянути основи теорії та практики вимірювань втрат оптичної потужності у роз'ємних з'єднаннях, набути практичних навичок роботи з конекторами.

Теоретичні відомості

Роз'ємні з'єднання (РЗ) використовуються у сучасних ВОЛЗ для з'єднання оптичних кабелів з приймально-передавальним та вимірювальним обладнанням, комутації ОВ тощо. Велика кількість РЗ використовується у мережах доступу FTТх (Fiber To The x...). Порівняно зі зварними з'єднаннями, РЗ характеризуються більшими втратами оптичної потужності (поглинання та відбиття), але при цьому забезпечують значні переваги з точки зору гнучкості мережі, зручності тестування, усунення пошкоджень тощо.

Механічна конструкція РЗ зумовлює виникнення втрат оптичного сигналу у РЗ на загасання та зворотне відбиття. Рівень зворотного відбиття визначає рівень шумів у лінії зв'язку. Цей параметр має велике значення для високошвидкісних систем передачі даних, а також для місцевих мереж кабельного телебачення [5]. Інший параметр – загасання в РЗ стає відсутнім у місцевих мережах, де використовується велика кількість таких з'єднань для забезпечення гнучкості мережі та комутації абонентів і оптичних кабелів.

Для зменшення втрат оптичного сигналу до конструкції РЗ висуваються жорсткі вимоги. Насамперед, це забезпечення точного юстування ОВ, зокрема вирівнювання осі при з'єднанні ОВ. РЗ повинні мати великий ресурс роботи і забезпечувати велику кількість повторних циклів роз'єднання–з'єднання. Ефективність з'єднання не повинна змінюватись унаслідок збільшення навантаження на корпус з'єднувача, наприклад, при натягуванні ОВ або кабелю. РЗ не повинні погіршувати свої параметри під впливом зміни температури, вологості, перепадів тиску, вібрації тощо. Зрештою, процедура роз'єднання–з'єднання повинна бути простою і доступною та не повинна займати багато часу.

Найбільшого поширення набула конструкція РЗ у вигляді системи «конектор–втулка–конектор», яка базується на методі «щільного з'єднання» ОВ. На рис. 30 наведена конструкція такого з'єднання, яка складається з двох оптичних конекторів, у яких знаходяться кінці ОВ, та адаптера із втулкою, що забезпечує точне юстування та щільне з'єднання цих волокон.

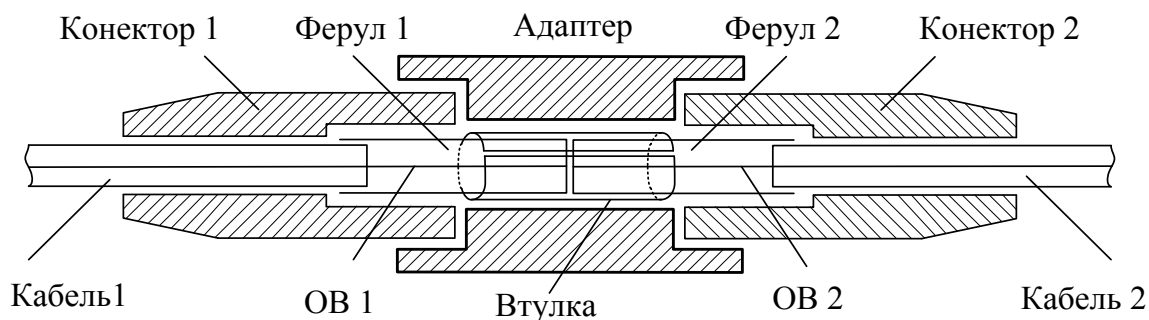


Рисунок 30 – Конструкція роз'ємного з'єднання

Оптичний конектор складається з корпусу, всередині якого розміщується наконечник, що називається ферул (ferrule). Ферул зазвичай має циліндричну форму з тонким наскрізним отвором уздовж осі симетрії, у який вклеюється кінець ОВ. Діаметр отвору залежить від типу ОВ. Для одномодового волокна діаметр отвору ферула становить 125,5–127 мкм, для багатомодового – 127–130 мкм. Найбільш поширений у стандартних типах роз'ємів ферул має діаметр 2,5 мм, а в мініатюрних – 1,25 мм. Зазвичай ферул виготовляється з різних видів кераміки, наприклад, діоксиду цирконію. Під час виготовлення конектора поверхня торця ферула шліфується та полірується для забезпечення щільного контакту у місці з'єднання волокон (Physical Contac, PC).

Ферули конекторів центруються у адаптері за допомогою втулки, яка має повздовжній розріз (рис. 30). Для з'єднання одномодових ОВ використовують керамічні втулки, а для з'єднання багатомодових – бронзові. Для забезпечення фізичного контакту PC ферули у конекторі підпружинюються, що робить місце з'єднання незалежним від корпусу адаптера та конекторів. Фіксація конекторів у адаптері може бути різьбовою, байонетною, на защібках тощо.

Втрати, які виникають у РЗ, виникають під дією зовнішніх та внутрішніх впливів. До зовнішніх відносять втрати у з'єднанні, пов'язані з механічними відхиленнями конструкції роз'єму. При цьому збільшення загасання та відбиття відбувається через повздовжнє, поперечне та кутове зміщення з'єднуваних ОВ, а також залежить від якості торцевих поверхонь ферул-конекторів. Інші втрати пов'язані із особливостями ОВ, які з'єднуються. Зокрема, відхиленням їх геометричних та оптичних параметрів: неконцентричність та еліптичність серцевини, відмінність діаметрів серцевин, відмінність діаметрів оболонок ОВ, різниця діаметрів модових полів одномодових ОВ, відмінність числових апертур та показників заломлення серцевин з'єднуваних ОВ тощо.

Розглянемо вплив конструктивних особливостей на параметри РЗ та методи їх зменшення. При цьому будемо вважати, що геометричні та оптичні параметри ОВ, які з'єднуються у конекторах, не впливають на загасання та зворотне відбиття оптичного сигналу у РЗ.

Згідно з теорією хвильової оптики, внесені втрати у місці РЗ ОВ визначаються зі співвідношення [26]:

$$A = 10 \lg \frac{P_{вих}}{P_{вх}}, \quad (9)$$

де $P_{вих}$ та $P_{вх}$ – потужність оптичного сигналу на виході та на вході РЗ, відповідно.

Розглядаючи оптичні волокна із ступінчастим показником заломлення і рівномірним розподілом потужності по модах, загальні втрати в РЗ можна подати у вигляді суми втрат, зумовлених конструкцією конектора, зокрема, це втрати через повздовжнє A_s , поперечне A_δ , кутове A_θ зміщення, а також інші втрати A_i , зумовлені, наприклад, неякісним поліруванням або забрудненням торцевих поверхонь ферул-конекторів РЗ:

$$A_p = A_s + A_\delta + A_\theta + A_i. \quad (10)$$

Найбільш поширеним видом зміщення у РЗ є повздовжнє або осьове зміщення ОВ (рис. 31). При цьому в роз'ємі між торцевими поверхнями ферулів виникає повітряний зазор довжиною s . Під час проходження оптичного сигналу через межу поділу середовищ волокно–повітря–волокно, які відрізняються показниками заломлення, виникає послаблення потужності оптичного сигналу та явище френелівського відбиття. Необхідно зазначити, що таких меж є дві: перша R1 – між ОВ1 та повітряним зазором z , та друга R2 – між повітряним зазором z та ОВ2. У результаті відбите випромінювання на межах R1 та R2 спрямовується як у сторону передавача оптичного сигналу у ОВ1, так і в сторону приймача у ОВ2.

Втрати оптичної потужності сигналу при повздовжньому зміщенні s можуть бути розраховані за формулою [5]:

$$A_s = -10 \cdot \lg \left[\frac{1}{1 + 2(s/d) \cdot \operatorname{tg}[(\arcsin(NA/n_0))]^2} \right] \approx -10 \lg \frac{2}{2 - \frac{s}{d} \cdot \operatorname{tg} \Theta_A}, \quad (11)$$

де s – повздовжнє або осьове зміщення;

NA – числова апертура;

n_0 – показник заломлення середовища;

Θ_A – апертурний кут;

d – діаметр серцевини ОВ.

Із графіка на рис. 32 видно, що рівень втрат оптичного сигналу у РЗ збільшується із збільшенням числової апертури ОВ та зазору між торцевими поверхнями ОВ. Це призводить до виникнення інтерференції зустрічних сигналів, зменшення вихідної потужності тощо.

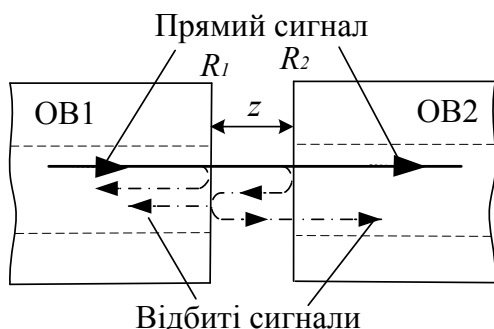


Рисунок 31 – Повздовжнє зміщення ОВ у РЗ

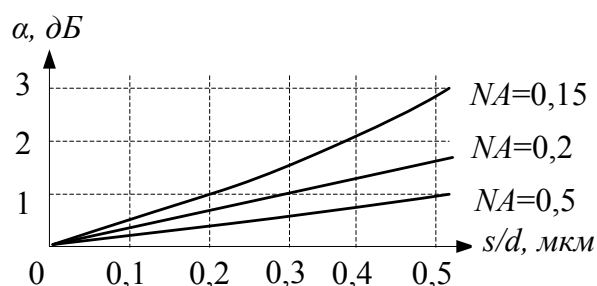


Рисунок 32 – Втрати при повздовжньому зміщенні ОВ у РЗ

Якщо у РЗ центральна вісь одного волокна не збігається з центральною віссю другого, то виникають втрати, зумовлені поперечним або радіальним зміщенням (рис. 33). При цьому зменшується ефективна площа проходження сигналів у місці з'єднання серцевин ОВ. У результаті частина оптичного випромінювання з серцевини одного ОВ переходить в оптичну оболонку другого ОВ і загасає у ній екзоненційно.

Втрати в РЗ при поперечному зміщенні можуть бути розраховані за формулою:

$$A_{\delta} = -10 \lg \left[1 - \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\delta}{d} \right] \approx -10 \lg \frac{d}{d - \delta}, \quad (12)$$

де δ – поперечне зміщення осі ОВ;
 d – діаметр серцевини ОВ.

Із графіка на рис. 34 видно, що поперечне зміщення на декілька мікрон призводить до втрат у РЗ до 2–3 дБ. Особливо ці зміщення є відчутними при з'єднанні одномодових ОВ, у яких досить малий діаметр серцевини (8–9 мкм).

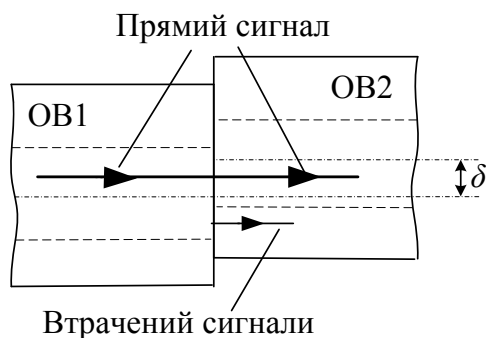


Рисунок 33 – Поперечне зміщення ОВ у РЗ

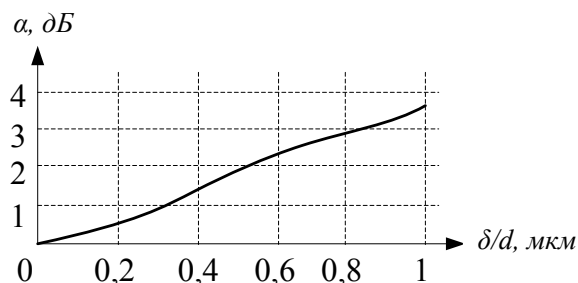


Рисунок 34 – Втрати при поперечному зміщенні ОВ у РЗ

Ще одним видом механічного зміщення у РЗ є кутове зміщення ОВ (рис. 35). При зміщенні ОВ на кут θ виникає повітряний зазор, який приз-

водить до появи зворотного відбиття та послаблення оптичної потужності сигналу. Втрати при кутовому зміщенні розраховуються за формулою:

$$A(\alpha) = -10 \cdot \lg \left(1 - \frac{2 \cdot \theta}{\pi \cdot \arcsin NA} \right) \approx -10 \lg \frac{\theta_A}{\theta_A - \theta}, \quad (13)$$

де θ – кутове зміщення;
 NA – числова апертура;
 θ_A – апертурний кут.

З графіка на рис. 36 видно, що навіть незначне зміщення оптичних волокон на кут у декілька градусів призводить до загасання у декілька децибел. При цьому виникають додаткові втрати мод високого порядку.

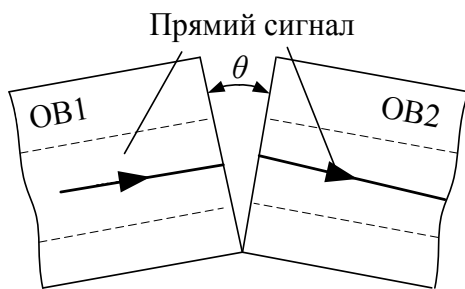


Рисунок 35 – Кутове зміщення
 ОВ у РЗ

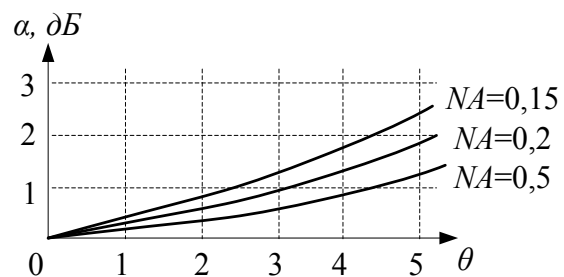


Рисунок 36 – Втрати при кутовому
 зміщенні ОВ у РЗ

Якість оптичного контакту залежить від форми торцевої поверхні ферула конектора та способу полірування його поверхні. Дві поверхні вважаються в оптичному контакті, якщо відстань між ними набагато менша від довжини хвилі оптичного сигналу [15]. Полірування зменшує повітряний зазор між торцевими поверхнями у РЗ та забезпечує оптичний контакт ОВ. На сьогоднішній день розрізняють такі типи полірування конекторів: РС, SPC, UPC та APC.

У перших зразках конекторів торець ферула мав плоску поверхню (рис. 37, а), що полірувалась вручну методом РС (Physical Contact). Але в процесі експлуатації таких конекторів стало зрозумілим, що абсолютно плоскої поверхні досягти неможливо і між торцевими поверхнями утворюються мікронерівності з повітряними зазорами, в результаті коефіцієнт зворотного відбиття становив -35...-40 дБ. Конектори з поліруванням типу РС мають вузьке застосування. Зокрема, для багатомодових волокон у локальних мережах доступу.

На зміну плоским прийшли конектори із сферичною формою торця ферула та радіусом заокруглення 10...25 мм (рис. 37, б). Виготовляються такі конектори із більш м'якого керамічного матеріалу цирконію. Для полірування застосовуються спеціальні машинні види полірування SPC

(Super Physical Contact) та UPC (Ultra Physical Contact). Це забезпечує оптичний контакт безпосередньо у місці з'єднання волокон і суттєво зменшує коефіцієнт відбиття – до -55 дБ. Сферична форма ферула і полірування SPC набули найбільшого поширення. Конектори, які відрізняються типом полірування PC, SPC та UPC, сумісні між собою і можуть бути під'єднані через відповідний адаптер. Але з'єднання конекторів із різними типами полірування може призвести до збільшення коефіцієнта відбиття. Конектори з такими видами полірування знайшли широке застосування як у локальних мережах, так і в магістральних лініях зв'язку. Вони використовуються у більшості систем передачі зі швидкістю 2,5 Гбіт/с та вище, структурованих кабельних системах, комп'ютерних мережах тощо.

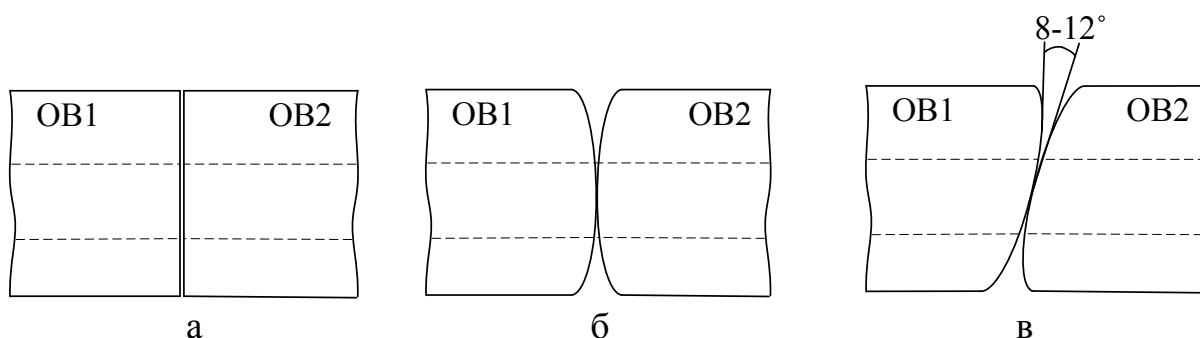


Рисунок 37 – Види полірування: а – PC; б – SPC, UPC; в – APC

Найбільш ефективним з точки зору зменшення рівня зворотного відбиття є метод полірування торцевої поверхні ферулів оптичних конекторів під кутом 8–12° (Angled Physically Contact, APC). У такому з'єднанні відбитий сигнал спрямовується під кутом більшим, ніж кут введення оптичного випромінювання у волокно. Під час з'єднання торці конекторів притискаються один до одного з певним зусиллям (близько 2...12 Н). При цьому виникає еластична деформація ферулів, яка забезпечує оптичний контакт. За рахунок цього кута практично весь відбитий сигнал виходить за межі РЗ. Максимальні внесені втрати при APC поліруванні конекторів становлять 0,10 дБ (IEC 1300-3-4; $\lambda = 1310/1550$ нм), а значення коефіцієнта зворотного відбиття -60 дБ. Тому конектори з APC поліруванням застосовуються у мережах кабельного телебачення та у високошвидкісних транспортних мережах зі спектральним ущільненням каналів (WDM). Даний вид конекторів несумісний з іншими, оскільки при з'єднанні торців поверхні обох конекторів можуть бути пошкоджені.

Існує велика різноманітність РЗ, які відрізняються розмірами та матеріалами виготовлення, способом фіксації конектора в адаптері, видом полірування торцевих поверхонь ферулів тощо. Найбільш поширені такі РЗ, як: FC, ST, SC, E2000, LC (рис. 38).

РЗ типу ST компанії American Telephon&Telegraph (США) використовуються для з'єднання як одномодових, так і багатомодових ОВ (рис. 38, а).

Фіксація конектора ST у адаптері здійснюється за принципом байонетного замка, аналогічно BNC-конектору для коаксіальних кабелів. Ферул конекторів має діаметр 2,5 мм та може бути у металокерамічному або керамічному виконанні. Даний тип РЗ характеризується простотою та надійністю в експлуатації, а також відносно невисокою вартістю. До недоліків ST слід віднести їх чутливість до ударних і вібраційних навантажень. Крім цього, байонетне прокручування конекторів у адаптері може призвести до пошкодження торцевих поверхонь їхніх ферулів. Через ці недоліки використання таких роз'ємів на рухомих об'єктах обмежене. На сьогоднішній день ST можна зустріти в оптичних підсистемах локальних мереж.

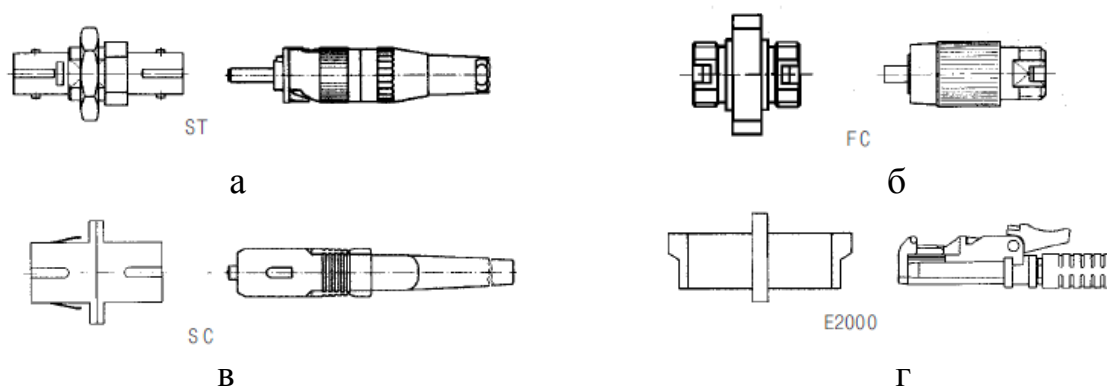


Рисунок 38 – Роз'ємні з'єднання: а – ST; б – FC; в – SC; г – E2000

У РЗ типу FC, розроблених японською компанією Nippon Telephone & Telegraph, керамічний ферул має діаметр 2,5 мм та випуклу торцеву поверхню діаметром 2 мм. Це забезпечує фізичний контакт у місці з'єднання ОВ. Фіксуються конектори FC у адаптері за допомогою накидної гайки. У такій конструкції відсутній жорсткий зв'язок підпружиненого наконечника (ферула) з кормусом конектора. Це збільшує вартість конектора, але одночасно і забезпечує надійність таких РЗ. Зокрема, стійкість до вібрацій та ударів дозволяє використовувати ці конектори на магістральних та місцевих оптичних лініях зв'язку, на рухомих об'єктах, поблизу залізниць тощо.

РЗ SC розроблені японською компанією NEC. Корпус конектора SC має прямокутну форму. Діаметр та торцева поверхня його ферула аналогічні FC конекторам. З'єднання та роз'єднання конектора та адаптера виконується лінійно методом «push-pull». Завдяки цьому наконечник (ферул) не пошкоджується в результаті прокручування у місці контакту, так як це відбувається у роз'ємах типу FC та ST. Але при цьому може мати місце ненадійна фіксація конектора в адаптері та роз'єднання ОВ у РЗ. Застосовуються у транспортних мережах всіх рівнів.

У конекторах типу E-2000 реалізована одна із найбільш складних конструкцій РЗ. Під'єднання та від'єднання конектора здійснюється лінійно способом «push-pull». Ферул у конекторах типа E-2000 має діаметр 2,5 мм.

Цей тип РЗ відрізняється покращеними оптичними показниками, стабільними температурними характеристиками, а також високою надійністю (гарантовано не менше 2 тисяч циклів роботи). Корпуси конектора та адаптера виготовляються із міцного полімеру та мають квадратну форму, що дозволяє використовувати їх у дуплексному варіанті. Крім цього, конструктивною особливістю Е-2000 є пластмасова захисна шторка (кришка) у передній частині конектора. Вона автоматично відкривається при включенні роз'єму у адаптер, а також автоматично закривається при роз'єднанні. Це зменшує імовірність механічного пошкодження чи забруднення торцевої поверхні фєрула конектора.

Малогабаритні РЗ типу LC розроблені американською компанією Lucent Technologies у 1997 році. У конструкції конектора, що може випускатися як в одномодовому, так і в багатомодовому варіантах, застосовується керамічний фєрул діаметром 1,25 мм. Фіксація конектора у адаптері реалізована за принципом «push-pull». Переважно LC-роз'єми зустрічаються у дуплексному виконанні. Це дозволяє збільшити щільність портів удвічі без зміни зовнішніх габаритів комутаційної панелі. Розробники гарантують до 500 циклів з'єднань.

Як зазначалось раніше, в процесі експлуатації також відбувається погіршення параметрів оптичних РЗ. Зокрема, при багаторазовому їх використанні виникає забруднення поверхні фєрулів. Крім цього, прикладання надмірного зусилля для фіксації конектора у адаптері може призвести до пошкодження торцевих поверхонь фєрулів конекторів. Ці та інші негативні впливи призводять до збільшення втрат у РЗ.

Один із способів діагностування РЗ є візуальне обстеження торцевої поверхні фєрулів конекторів за допомогою спеціальних оптичних відеомікроскопів. На рис. 39 наведено зображення торців конекторів, отриманих за допомогою оптичного відеомікроскопу зі збільшенням 200 разів [9].

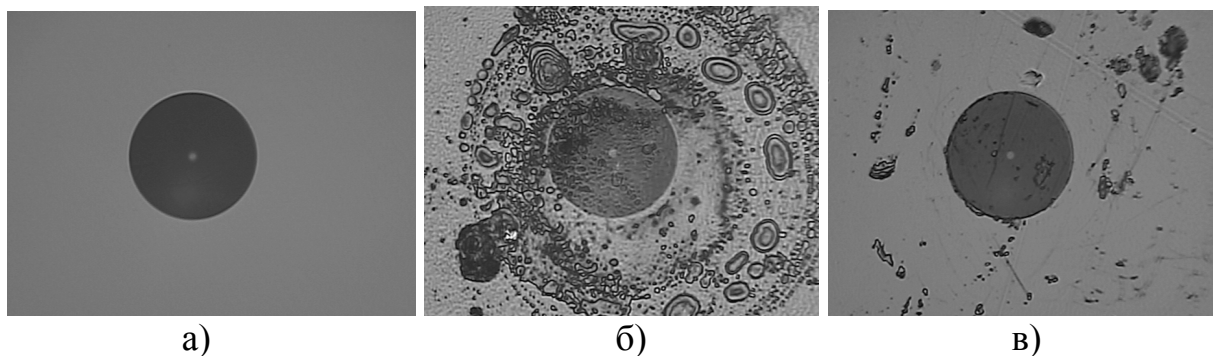


Рисунок 39 – Зображення торцевих поверхонь оптичних конекторів: а – незабруднена поверхня; б – забруднена поверхня; в – відшарування оптичного волокна

На рис. 39, а) зображено торцеву поверхню нового конектора, який не був у використанні, тому на його поверхні відсутнє забруднення.

На рис. 39, б) зображена забруднена поверхня, яка містить частинки бруду різного розміру, які збільшують повітряний зазор між волокнами у РЗ. При цьому можуть виникати області, «непрозорі» для оптичного сигналу, що призводять до його загасання. Необхідно зазначити, що потужний оптичний сигнал поглинається забрудненням на поверхні конектора і спричиняє їх нагрівання і фізикохімічні зміни.

Виготовлення РЗ із неякісних матеріалів також з часом призводить до погіршення їх роботи. Так, на рис. 39, в) зображено відшарування ОВ у керамічному конекторі, яке виникає при використанні неякісного клею для фіксації волокна в каналі ферула. Це призвело до децентралізації ОВ у роз'ємі та збільшення загасання оптичного сигналу.

Таким чином, якість РЗ має велике значення для забезпечення надійної роботи сучасних оптичних мереж, зокрема, високошвидкісних, що працюють на швидкостях 1 Гб/с і вище, а також аналогових мереж кабельного телебачення. Необхідно враховувати, що втрати та зворотне відбиття у РЗ з часом можуть змінюватись під впливом зовнішніх чинників. У подальшому це може призвести до порушення зв'язків та погіршення роботи системи передачі в цілому. Тому в процесі експлуатації необхідно виконувати періодичні вимірювання параметрів РЗ, перевірку поверхонь оптичних конекторів за допомогою відеомікроскопів. При необхідності виконувати їх очищення з допомогою спеціальних серветок або потоком стиснутого повітря. У випадку механічного пошкодження конектора необхідно здійснити його заміну.

Хід роботи

1. Ознайомитись з типами конекторів та адаптерів РЗ, які застосовуються у кінцевих пристроях на стенді ВОЛЗ.
2. Вивчити структуру ВОЛЗ на стенді та схему розварки її оптичних волокон. Встановити номери досліджуваних РЗ за двома останніми цифрами залікової книжки.
3. Підготувати рефлектометр до роботи. З допомогою патчкорда або компенсатора мертвої зони під'єднати рефлектометр до визначених номерів волокон ВОЛЗ. Задати основні параметри вимірювання рефлектометра:
 - довжину хвиль вимірювання;
 - тривалість вимірювального імпульсу;
 - значення показника заломлення ОВ;
 - діапазон вимірювання довжини лінії;
 - час усереднення;
 - порогові значення загасання та зворотного відбиття у місцях з'єднання ОВ.
4. Виконати вимірювання у двох напрямках та на двох довжинах хвиль 1550 нм та 1310 нм. Отримані рефлектограми зберегти на змінному носії для подальшого аналізу та занесення до звіту роботи.

5. З допомогою ПК та програмного забезпечення відкрити отримані рефлектограми та виконати аналіз РЗ «вручну»:

- визначити оптичну довжину до РЗ;
- виміряти втрати у РЗ методом п'яти точок;
- виміряти відбиття;
- визначити ORL.

6. Основні характеристики та результати вимірювань досліджуваних РЗ занести до табл. 3.

Таблиця 3 – Результати дослідження РЗ

№ ODF	№ РЗ	Тип РЗ	Відстань до РЗ, м	AA-Б, дБ		AB-A, дБ		RLA-Б, дБ		RLB-A, дБ	
				1310 нм	1550 нм	1310 нм	1550 нм	1310 нм	1550 нм	1310 нм	1550 нм
1											
...											
2											
...											

7. За наявності відеомікроскопа отримати зображення торцевої поверхні ферула досліджуваних РЗ.

Устаткування

1. Навчальний стенд ВОЛЗ.
2. З'єднувальні одномодові та багатомодові патчкорди FC/PC, SC/PC та E200/PC.
3. Оптичний рефлектометр.
4. Оптичний відеомікроскоп.

Зміст звіту

1. Титульна сторінка із назвою дисципліни та темою лабораторної роботи.
2. Мета роботи, завдання та основні задачі, які необхідно вирішити у даній лабораторній роботі.
3. Короткі теоретичні відомості про принцип роботи та конструкцію РЗ, способи полірування та області їх застосування. Пояснити основні методи та засоби, які використовуються для дослідження та вимірювання оптичних параметрів РЗ.
4. У ході роботи необхідно зобразити схему вимірювання РЗ на стенді ВОЛЗ, фрагменти рефлектограм із подіями, які відповідають досліджуваному РЗ, таблицю із результатами вимірювання втрат на загасання та відбиття у РЗ. Зображення торцевих поверхонь ферулів досліджуваних РЗ

(за наявності відеомікроскопа). Виконати порівняльний аналіз отриманих результатів вимірювання із відповідними нормованими значеннями. Якщо виникає їх невідповідність, то необхідно пояснити причини, які призвели до погіршення параметрів РЗ.

5. Висновки.

Контрольні питання

1. Призначення, застосування та вимоги до РЗ.
2. Конструкція РЗ: оптичний конектор та адаптер.
3. Причини виникнення втрат оптичної потужності сигналу у РЗ.
4. Загасання оптичного сигналу у РЗ. Механізм виникнення загасання. Способи зменшення.
5. Зворотне відбиття оптичного сигналу у РЗ. Механізм виникнення відбиття. Способи зменшення.
6. Осьове зміщення у РЗ. Причини виникнення. Втрати, що при цьому виникають.
7. Радіальне зміщення у РЗ. Причини виникнення. Втрати, що при цьому виникають.
8. Кутове зміщення у РЗ. Причини виникнення. Втрати, що при цьому виникають.
9. Види полірування поверхонь ферулів оптичних конекторів. Порівняльна характеристика. Область застосування.
10. Характеристика та порівняльний аналіз РЗ ST/PC та SC/SPC.
11. Характеристика та порівняльний аналіз РЗ FC/SPC та E2000/SPC.
12. Вимірювання втрат у РЗ з допомогою оптичного рефлектометра.
13. Дослідження торцевої поверхні ферула конектора за допомогою відеомікроскопа.
14. Вхідний контроль та відбракування неякісних РЗ під час монтажно-вимірювальних робіт на ВОЛЗ.
15. Профілактика та очищення РЗ під час експлуатації ВОЛЗ.

Лабораторна робота № 5

Вимірювання електричних параметрів волоконно-оптичної лінії зв'язку

Мета: засвоїти методики вимірювання електричних параметрів ВОЛЗ, набути практичних навичок з освоєння вимірювальних приладів та ознайомитись з нормами на електричні параметри кабелів зв'язку.

Теоретичні відомості

Прокладання підземних кабельних ліній зв'язку на сьогоднішній день вважається найбільш надійним та перспективним способом розбудови оптичних транспортних мереж. При цьому забезпечується низька ймовірність пошкодження та виведення із ладу ВОЛЗ.

На сьогоднішній день для безпосереднього прокладання у ґрунті використовуються оптичні кабелі зі спеціальними елементами конструкції, які забезпечують захист від тих чи інших видів зовнішніх негативних впливів. Зокрема, підземні кабельні лінії зв'язку можуть піддаватись таким фізичним та хімічним впливам, як удари блискавки, електромагнітні впливи високовольтних ліній електропередач (ЛЕП), наведення електрорушійної сили під дією електрифікованих залізниць, пошкодження кабелю гризунами, проникнення вологи та інших агресивних хімічних речовин у кабель, що призведуть до пошкодження або деградації ОВ. Тому під час будівництва та експлуатації підземних кабельних ліній зв'язку використовуються спеціальні засоби захисту від небезпечних зовнішніх впливів, а також здійснюється обов'язковий контроль цих захисних конструктивних елементів кабелів. Одним із способів такого контролю є вимірювання їхніх електричних параметрів. Розглянемо методи та засоби захисту ВОЛЗ і вимірювання їхніх електричних параметрів.

Електричні вимірювання кабельних ліній зв'язку проводяться з метою:

- перевірки відповідності нормам електричних характеристик кабельних ліній зв'язку, що приймаються до експлуатації;
- перевірки відповідності нормам електричних характеристик діючих кабельних ліній зв'язку та виявлення ділянок ліній, що не задовольняють норми, з метою запобігання ушкодженням;
- визначення характеру та місця пошкодження кабелю зв'язку;
- перевірки якості виконаного ремонту.

Відповідно до наведеного вище, електричні вимірювання кабелів зв'язку поділяють на:

- приймально-здавальні;
- періодичні (профілактичні);

– вимірювання з метою перевірки якості будівельних та ремонтних робіт;

– вимірювання, за допомогою яких можна визначити характер та місце пошкодження.

Залежно від умов прокладання та технічної експлуатації у конструкції ОК передбачається одна або декілька захисних (поліетиленових та/або металевих) оболонки, які призначені для захисту від зовнішніх механічних впливів та пошкоджень. Так, у магістральних оптичних кабелях, що прокладаються безпосередньо у ґрунті, для захисту від пошкоджень під дією механічних навантажень та гризунів використовується спеціальне бронепокриття у вигляді сталевий гофрованої броні або стрічки. Зовні над бронепокриттям накладається захисний поліетиленовий шланг, який захищає від проникнення усередину кабелю вологи та інших хімічних речовин, які призводять до корозії металевих елементів та деградації ОВ. Крім цього, до конструкції ОК можуть бути включені також струмопровідні жили для організації дистанційного живлення обладнання ВОЛЗ і контролю технічного стану кабельної лінії.

При цьому оптичні кабелі з металевими елементами можуть піддаватися зовнішнім електромагнітним впливам. На ділянках траси ВОЛЗ, де ймовірність небезпечних ударів блискавки перевищує допустиме значення, а також у місцях паралельного зближення ОК з високовольтними ЛЕП мають передбачатися заходи захисту оптичного кабелю від небезпечних електромагнітних впливів. Найпоширенішим способом захисту ВОЛЗ від ударів блискавки та небезпечних впливів ЛЕП чи електрифікованих залізниць є заземлення або під'єднання металевих струмопровідних елементів кабельної лінії до пристроїв заземлення. Цим досягається безпека обслуговуючого персоналу ВОЛЗ при виконанні ремонтних аварійних робіт, а також захист від пробоя ізоляції ОК, правильність роботи апаратури станційного та лінійного обладнання.

Заземленням називається пристрій, що складається з заземлювача (одного або декількох) і провідників, що з'єднують заземлювач з металевими елементами кабельної лінії або станційного обладнання. Заземлювачем називається металевий електрод, що знаходиться у безпосередньому контакті з землею і забезпечує із землею електричне з'єднання певного опору. Як заземлювач використовують металеві труби, сталеві кутники тощо. Якщо величина опору заземлювача з одного електрода не є достатньою, то заземлювач влаштовують з декількох електродів, з'єднаних між собою сталевий смужкою. Конструктивні елементи пристрою заземлення з'єднуються між собою дуговою зваркою. Такий заземлювач називають багатоелектродним. Величина опору заземлення залежить від стану ґрунту, його питомого опору, вологості, пори року тощо. Тому щороку (зазвичай два рази на рік – взимку і влітку) виконують контрольні вимірювання опору заземлення.

Залежно від призначення норма на опір заземлення коливається від 2 до 20–30 Ом. Захисне заземлення цифрової станції повинно бути не більшим 2 Ом.

Крім захисних функцій, поліетиленовий шланг, металеве бронепокриття, дистанційні жили (за їх наявності) використовують під час контролю електричних параметрів кабелю для визначення траси прокладання оптичного кабелю, глибини його залягання, визначення місця пошкодження кабелю, сигналізації про потрапляння вологи в конструкцію ОК або в муфту. Тому у місцях заземлення металевих елементів ОК улаштовують контрольно-вимірні пункти (КВП), які використовуються для вимірювання електричних параметрів ОК і під'єднання генератора при відстежуванні траси прокладання ВОЛЗ у процесі експлуатації (рис. 40).

КВП встановлюються безпосередньо на трасі прокладання ОК у місцях, зручних для під'їзду, у місцях зближення траси прокладання ВОЛЗ і автомобільних доріг та біля переходів через них. КВП має встановлюватися на відстані 0,1 м від осі траси ВОЛЗ у бік поля. При цьому ніша, у якій розташований клемний щиток, має бути повернутою до оптичного кабелю.

З огляду на значну довжину регенераційної ділянки на міжміських ВОЛЗ кабельну трасу розбивають на ділянки контролю довжиною від 8 до 10 км. На ділянці контролю у проміжних муфтах повинно виконуватися перепаявання металевих броньового покриття чи оболонки ОК.

Заземлення металевих елементів ОК здійснюється через КВП у проміжних муфтах на регенераційних ділянках чи в розгалужувальній муфті, установленій у технологічному приміщенні або безпосередньо на лінійному ОК у шахті. У місцях встановлення КВП має виконуватися гальванічний розрив металевих елементів оптичного кабелю з виведенням їх на КВП та заземленням. Якщо у приміщенні вводу оптичного кабелю не виконується перехід лінійного ОК на станційний ОК в оболонці, що не поширює горіння, має здійснюватися гальванічний розрив металевих елементів оптичного кабелю з їх заземленням.

Для з'єднання оболонки і броні оптичних кабелів із клемним щитком КВП використовується кабель, наприклад, КСПЗП 1×4×1,2 довжиною не більше 6 м. Перепаявання контактної провідності та броньового покриття чи оболонки всередині муфти й на оптичному кабелі має виконуватися за допомогою паяльної пасти, наприклад ПБК-26, або струмопровідного клею, наприклад ТПК-10. Відводи мають виконуватися чи з муфт, чи на оптичному кабелі в місці зробленого розриву пластмасового шлангового захисного покриття (після виконання відвода місце розриву має герметизуватися). Для з'єднання заземлення із клемним щитком КВП використовується кабель ВВГ-1×10, ПВ 16 та ін.

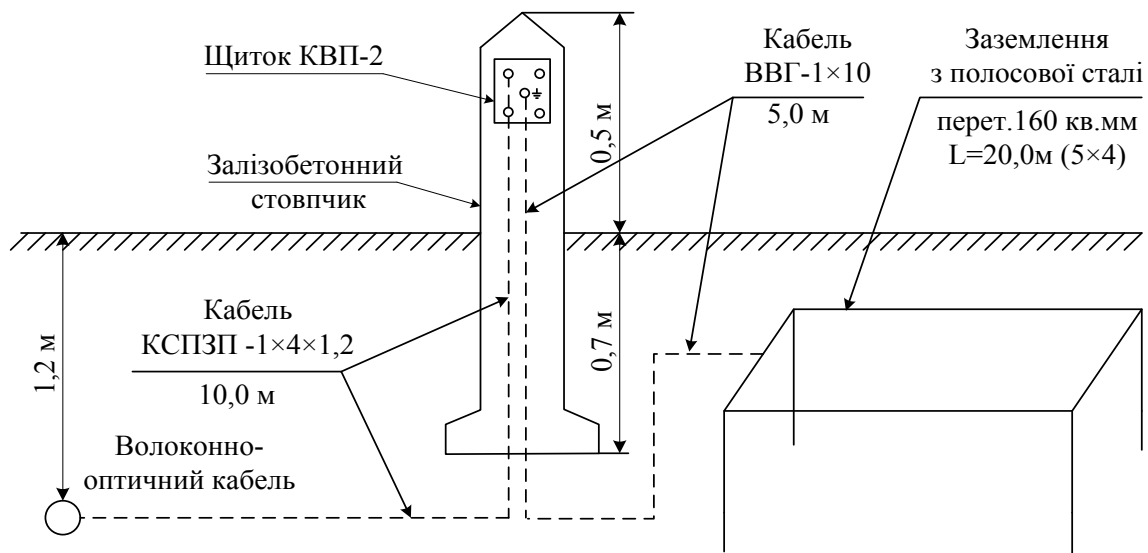


Рисунок 40 – Контрольно-вимірювальний пункт

Із КВП виконуються вимірювання таких електричних параметрів ВОЛЗ:

- електричний опір ізоляції захисного шланга;
- перевірка цілісності металевої оболонки;
- опір заземлення;
- питома провідність ґрунту у місці заземлення.

Необхідно зазначити, що під час погіршення погодних умов, наприклад, блискавки та грому, будь-які роботи, в тому числі і вимірювання, на підземних кабельних лініях заборонені. Виконувати вимірювання дозволяється тільки на відключених і розряджених кабельних лініях. Перед першими вимірами кабельна лінія повинна бути розряджена шляхом з'єднання всіх металевих елементів між собою й заземленням не менше, ніж на 2 хв.

Для вимірювання електричних параметрів ВОЛЗ використовуються кабельні прилади, аналогічні тим, що застосовують для вимірювання мідних (симетричних та коаксіальних) ліній зв'язку. Це мегаомметри, кабельні переносні (ПКП-4, ПКП-5), ІРК-PRO тощо. Крім цього, виконується вимірювання опору заземлення та питомого опору ґрунту з допомогою приладів ЦС4107, М419 тощо. Ці прилади мають бути повірені згідно з діючим положенням про державну повірку. Застосовувати вимірювальні прилади, які не пройшли метрологічної повірки у встановлений термін, забороняється. Результати вимірювань оптичних та електричних параметрів ОК фіксуються у актах на приховані роботи з проведення заземлення та протоколах електричних вимірювань параметрів ОК [26].

Електричний опір ізоляції зовнішнього захисного шланга вимірюють між металевою оболонкою (екраном) та заземленнями. За наявності у ОК дистанційних жил, їхній опір ізоляції вимірюють між жилами пар кабелю та кожною жилою й заземленою металевою оболонкою (екраном).

Вимірювання виконуються за допомогою різних методів: методом порівняння, мостовим методом, методом вольтметра-амперметра тощо. Перед кожним вимірюванням виконується калібрування приладу. Після знаходження вимірювального кола під напругою впродовж 1 хв на шкалі мегаомметра отримують значення опору ізоляції на всю довжину кола (рис. 41).

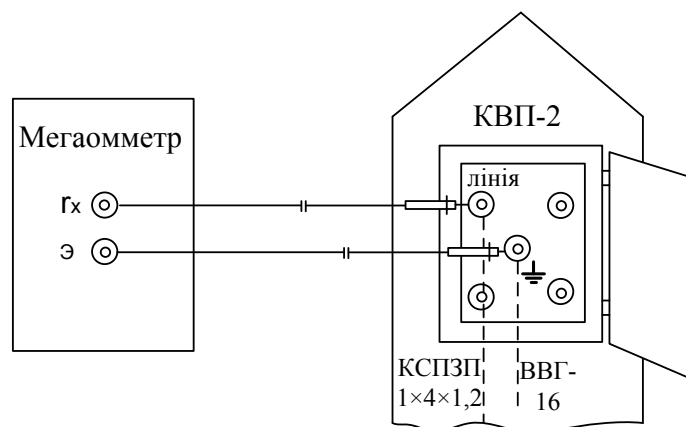


Рисунок 41 – Схема вимірювання ізоляції мегаомметром

Результати вимірювань зводяться до кілометричних значень з урахуванням температурного коефіцієнта, порівнюються з нормами та робиться висновок щодо придатності до роботи вимірювальної ділянки кабельної лінії. При цьому необхідно врахувати, що опір ізоляції із збільшенням довжини лінії зменшується, тобто є зворотно пропорційний до довжини лінії.

При проведенні вимірювань слід враховувати специфіку впливу різних зовнішніх факторів на величину опору ізоляції. Одним з таких факторів є температура. При її підвищенні в більшості діелектриків, які використовуються як матеріал ізоляції, збільшується кількість вільних носіїв зарядів, що призводить до зниження опору. Через це обчислення опору ізоляції кабелю при температурі $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ проводяться за формулою:

$$R_{i3} = \frac{R_{i3t}}{1 + \alpha_{R_{i3}}(t - 20)}, \quad (14)$$

де R_{i3t} – опір ізоляції за температури t , $^\circ\text{C}$;

$\alpha_{R_{i3}}$ – температурний коефіцієнт опору ізоляції (для поліетилену температурний коефіцієнт дорівнює 0,001).

Електричний опір ізоляції на 1 км при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$ має бути меншим за норму, яку вказано в ТУ та стандарті на ОК, що підлягає контролю. Для будівельних довжин ОК, прокладених у скелястому ґрунті чи в зайнятих раніше прокладеними кабелями каналах кабельної каналізації, додатково проводяться вимірювання електричного опору ізоляції пластмасового захисного покриття оптичного кабелю між металевим броньовим покриттям (металевою оболонкою) і землею. Такі вимірювання можуть виконуватись мегаомметром і не повинні перевищувати норму – 5 МОм·км.

Ще одним фактором, який впливає на опір ізоляції кабельної лінії, є вологість. Із накопиченням вологи усередині кабелю істотно зменшується опір його ізоляції. Більшість електроізоляційних матеріалів є гігроскопічними, тобто здатними вбирати вологу з навколишнього середовища, що вносить додаткову похибку у реальну величину опору ізоляції.

Границі відносної похибки вимірювання під дією зовнішніх факторів розраховуються за формулою:

$$\delta = \sqrt{\delta_0^2 + \sum_{n=1}^n \delta_{cn}^2}, \quad (15)$$

де δ_0 – допустиме значення основної відносної похибки;

δ_{cn} – допустиме значення додаткової похибки від n-го фактора впливу.

Перед вимірюванням необхідно, за змоги, зменшити кількість факторів, що викликають додаткову похибку. Наприклад, встановити вимірювальний прилад горизонтально, далі від джерел магнітних полів.

Межі допустимих значень додаткової похибки через відхилення температури повітря від нормованого значення до будь-якої температури в межах допустимих робочих температур дорівнюють половині меж основної відносної похибки на кожні 10 °С зміни температури ($\pm 7,5\%$). Наприклад, похибка при зміні температури до -1 °С не перевищить $\delta_{C1} = \pm \frac{20 - (-10)}{10} \cdot 7,5 = \pm 22,5\%$. Якщо межі допустимого значення додаткової похибки від нахилу дорівнюють $\delta_{C2} = \pm 15\%$, тоді межі відносної похибки вимірювання під дією зовнішніх факторів розраховуються за формулою [27]:

$$\delta = \sqrt{\delta_0^2 + \delta_{C1}^2 + \delta_{C2}^2} = \sqrt{15^2 + 22,5^2 + 15^2} = 31\%.$$

Якщо виміряні значення електричного опору ізоляції пластмасового захисного покриття оптичного кабелю нижчі від норми, то необхідно визначити місце зниження електричного опору ізоляції, наприклад, методом градієнта потенціалів за допомогою приладів для пошуку місць зниження ізоляції, таких як ИМПИ (при високих перехідних опорах від 1 до 5 МОм допускається допаювання ізоляції за допомогою високовольтного джерела напруги) чи мостовим методом за допомогою високовольтного моста, наприклад, типу Р 41270 разом із джерелом напруги постійного струму типу П 4110. Місце зниження електричного опору ізоляції, пошкодження захисної поліетиленової оболонки має бути відновлене за допомогою липкого поліізобутиленового компаунду (ЛПК) або з допомогою термоусаджувальної манжети чи заварюванням через нагріту вкладку (склострічку). Зварюванням здійснюється, в основному, ремонт пошкоджень захисної поліети-

ленової оболонки при отворах в оболонці діаметром до 10 мм, а за допомогою ЛПК – будь-які пошкодження. Ремонт пошкоджень захисної поліетиленової оболонки оптичних кабелів, прокладених у ґрунті, має проводитися в палатці при температурі навколишнього повітря від -5 до 40 °С. Ремонт заварюванням через склострічку рекомендується проводити тільки при додатних температурах навколишнього повітря.

За наявності дистанційних жил виконується перевірка їх цілісності методом прозвонювання за допомогою електричного тестера. Випробування ізоляції мідних жил проводиться напругою постійного струму протягом часу, нормовані значення якого вказані в ТУ й стандарті на ОК, що підлягає контролю. Для запобігання перевантаженням внаслідок перехідних явищ випробувальна напруга має підвищуватися плавно. Випробування проводяться між будь-якою мідною жилою і рештою мідних жил, з'єднаних з металевими елементами ОК, приладом, наприклад, тренувально-випробувальною установкою типу ТИУ-64 чи подібною до неї.

Якщо для ОК з металевими елементами в конструкції проектом передбачений захист ВОЛЗ від корозії та заземлення, то мають проводитись вимірювання потенціалів (струмів) на оболонці (броні) ОК та опору заземлення.

Земля (ґрунт) є провідником електричного струму, який широко використовується при роботі різного роду електроустановок. Електричний зв'язок між частинами електроустановок і землею здійснюється за допомогою заземлювальних пристроїв. Заземлювальний пристрій являє собою сукупність заземлювачів – провідників, що знаходяться в безпосередньому контакті із землею і використовуються для з'єднань з нею частин електроустановки, та заземлювальних провідників – металевих провідників, призначених для з'єднання частин електроустановки з заземлювачем. Заземленням будь-якої частини електричної установки називається навмисне з'єднання її з заземлювальним пристроєм з метою збереження на ній необхідного потенціалу і забезпечення нормальної роботи системи чи її елементів в обраному для них режимі.

Властивості землі як провідника струму характеризуються величиною електричного питомого опору землі ρ_3 (Ом·м), що являє собою опір, який утворює 1 м³ землі проходженню струму від однієї грані куба до іншої, він залежить від структури землі, її вологості й температури, наявності розчинних хімічних речовин (кислот, лугів, продуктів гниття тощо).

При дослідженні електромагнітних впливів на лінії зв'язку, а також при проектуванні заземлювальних пристроїв зв'язку важливо знати величину питомого опору землі (ґрунту) ρ_3 . Опір ґрунту є також одним з головних параметрів при оцінюванні можливості пошкодження кабелю внаслідок влучень блискавки, при визначенні впливів зовнішніх електромагнітних полів і виборі мір захисту від них. Питомий опір землі є одним з параметрів, що обумовлює величину опору заземлення металевих оболонок, екранів кабелів і екранів апаратури ВОЛЗ.

Величину ρ_3 необхідно знати і при деяких випробуваннях, які проводяться періодично на лініях зв'язку. Зокрема, норми гранично допустимої величини опору заземлення на лініях зв'язку залежать від питомого опору ґрунту ρ_3 . Наприклад, під'єднуватись до спеціально влаштованих захисних пристроїв з метою заземлення опором 10 Ом для ґрунтів з питомим опором до 100 Ом·м і не більш як 30 Ом для ґрунтів з питомим опором понад 100 Ом·м. Вимірювання опору заземлення та визначення питомого опору ґрунту виконується за схемою, наведеною на рис. 42.

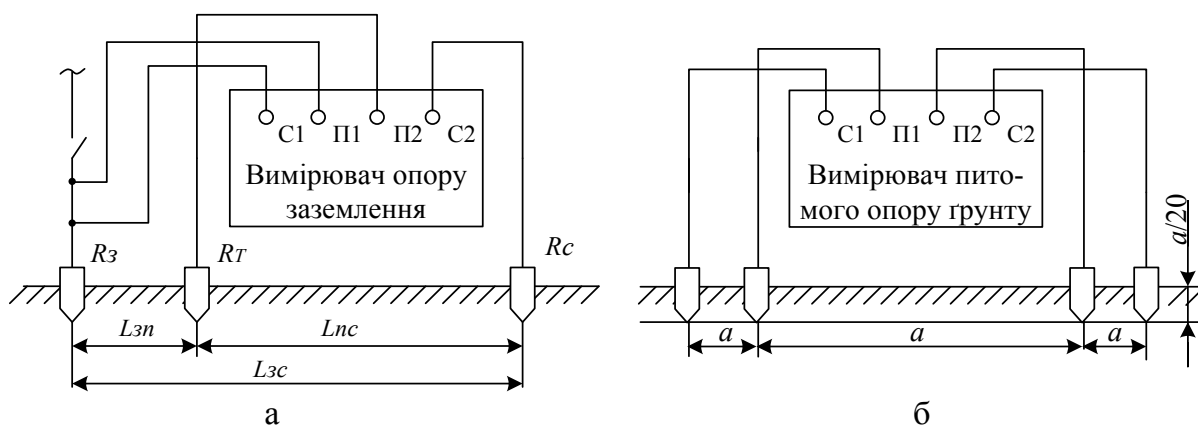


Рисунок 42 – Схеми під'єднання вимірювача заземлення для:
 а – вимірювання опору заземлення; б – вимірювання питомого опору ґрунту

Для вимірювання опору заземлення досліджуваного електрода заземлення R_3 необхідно два допоміжних електроди R_C та R_T (рис. 42). Один допоміжний електрод R_C використовується для створення кола струму, за характером розтікання якого і визначається опір заземлення. Другий, потенціальний електрод R_T (також називається зондом), використовується для визначення потенціалу в певному місці ділянки розтікання струму. Потенціальний та струмовий електроди відносно об'єкта вимірювання та між собою встановлюються на відстані відповідно L_{3n} , L_{3c} , L_{nc} .

Вказівка заходів безпеки

УВАГА! До увімкнення приладу в мережу живлення необхідно захисне заземлення під'єднати до клемі «земля» на лицьовій панелі приладу. Під час вимірювання забороняється доторкатися до струмопровідних елементів приладу і кабельної лінії.

УВАГА! Не виконуйте вимірювання, не переконавшись у відсутності напруги на вимірюваному об'єкті. При проведенні вимірювання опору ізоляції повинні виконуватися вимоги безпеки, викладені в «Правилах технічної експлуатації електроустановок споживачів і правилах техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

Хід роботи

1. Ознайомитись з інструкціями з експлуатації мегаомметра та приладу для вимірювання заземлення. Переконайтесь у відсутності напруги на об'єкті вимірювання.

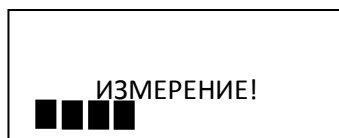
2. Для вимірювання опору ізоляції та шлейфа під'єднати мегаомметр до клем КВП згідно зі схемою, наведеною на рис. 41. Установити перемикач вимірювальних напруг у потрібне положення, а перемикач діапазонів у положення I або II.

3. Виконати обертання ручки генератора зі швидкістю 120–144 об/хв та після встановлення вказівної стрілки виконати відрахунок значень вимірюваного опору. Для зменшення часу встановлення показників за шкалою II необхідно перед вимірюванням закоротити клеми r_x і обертати ручку генератора протягом 3–5 с. Після завершення вимірювання встановити перемикачі мегаомметра у середнє положення.

4. Дані вимірювань електричних параметрів звести до кілометричних значень з урахуванням температури ґрунту для опору шлейфа та опору ізоляції (якщо треба). Результати вимірювання занести до табл. 4. Порівняти дані вимірювань з нормами на електричні параметри кабелю та зробити висновок щодо відповідності їх ТУ на кабель.

5. Для вимірювання опору заземлення під'єднати відповідний вимірювальний прилад до клеми КВП, яка з'єднана з пристроєм заземлення, а також до допоміжних електродів R_c , R_t .

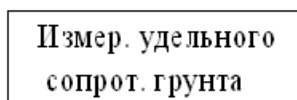
6. Увімкнути прилад. Натиснути кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ»:



На дисплеї з'явиться інформація про результати вимірювання. Отримані дані занести до таблиці результатів вимірювання електричних параметрів ВОЛЗ.

7. Для вимірювання питомого опору ґрунту під'єднати вимірювальний прилад за схемою, наведеною на рис. 42.

8. Увімкнути вимірювач і одночасним натисканням кнопок «▼» та «ПОДСВЕТКА» увійти у режим визначення питомого опору ґрунту. На дисплеї з'явиться інформація:




Натиснути кнопку «ПОДСВЕТКА», на дисплеї з'явиться інформація:

Уст. расстояния
а = xx м

Кнопками «▼» або «▲» ввести значення відстаней а між електродами. Діапазон встановлення а від 1 м до 99 м з кроком 1 м.

9. Натиснути кнопку «ИЗМЕРЕНИЕ». Після завершення вимірювання на дисплеї з'явиться інформація:

<00> R= XXXX
ρ  ρ= XXXX

Питомий опір ґрунту ρ вимірювач вираховує за формулою $\rho = 2\pi Ra, \text{ Ом} \cdot \text{м}$. Отримані дані занести до табл. 4 результатів виконання лабораторної роботи.

10. Для виходу із режиму визначення питомого опору ґрунту натисніть одночасно кнопки «▼» та «ПОДСВЕТКА», на дисплеї з'явиться інформація:

Измер.сопрот.
заземления

Також вимірювач виходить з режиму визначення питомого опору ґрунту при вимкненні живлення.

Таблица 4 – Результаты вимірювання електричних параметрів ВОЛЗ

Вимірювані величини	На довжину L при t °C	На 1 км при 20 °C	Нормовані дані на 1 км при 20 °C	Примітка
Опір ізоляції				
Опір шлейфа				
Опір заземлення				
Питомий опір ґрунту				

Устаткування

1. Навчальний стенд ВОЛЗ.
2. Мегаомметр та вимірювач заземлення.

Зміст звіту

1. Титульна сторінка із назвою дисципліни та темою лабораторної роботи.
2. Мета роботи, завдання та основні задачі, які необхідно вирішити у даній лабораторній роботі.
3. Короткі теоретичні відомості про зовнішні негативні впливи на ВОЛЗ, методи та прилади вимірювання електричних параметрів ВОЛЗ.
4. У ході роботи необхідно зобразити схему вимірювання електричних параметрів ВОЛЗ, таблицю із результатами вимірювання. Виконати порівняльний аналіз отриманих результатів вимірювання із відповідними нормованими значеннями. Якщо виникає невідповідність деяких параметрів нормованим значенням, то необхідно пояснити причини, які призвели до погіршення цих параметрів ВОЛЗ.
5. Висновки.

Контрольні питання

1. Електричні вимірювання параметрів підземних кабельних ліній зв'язку.
2. Основні види зовнішніх негативних впливів на ВОЛЗ.
3. Захисні елементи кабелів зв'язку.
3. Поясніть, коли на підземних кабельних лініях зв'язку забороняються монтажні-вимірювальні роботи.
4. Пристрої заземлення лінійних кабельних споруд. Опір заземлення.
5. Контрольно-вимірювальні пункти, їхні призначення та конструкція.
6. Перелічіть марки приладів, які використовуються для вимірювання електричних параметрів ВОЛЗ.
7. Поясніть, які фактори впливають на величину вимірюваного опору ізоляції.
8. Укажіть способи зменшення похибки вимірювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Листвин А. В. Оптические волокна для линий связи / Листвин А. В., Листвин В. Н., Швырков Д. В. – М. : ЛЕСАРарт, 2003. – 288 с.
2. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи / Фриман Р. – М. : Техносфера, 2007. – 512 с.
3. Бейли Д. Волоконная оптика: теория и практика / Д. Бейли, Э. Райт. – М. : КУДИЦ-ОБРАЗ, 2006. – 320 с.
4. Гуртов В. А. Оптоэлектроника и волоконная оптика / Гуртов В. А. – Петрозаводск : ПетрГУ, 2005. – 100 с.
5. Савин Е. З. Волоконно-оптические кабели и пассивные компоненты ВОЛП : учебное пособие / Савин Е. З. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. – 223 с.
6. ITU-T. Recommendation G.652. Characteristics of a single-mode optical fibre cable.
7. ITU-T. Recommendation G.651. Characteristics of a 50/125 multimode graded index optical fibre cable.
8. Парфенов Ю. А. Кабели электросвязи / Парфенов Ю. А. – М. : ЭкоТрендз, 2003. – 256 с.
9. Гроднев И. И. Оптические кабели: конструкции, характеристики, производство и применение / Гроднев И. И. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 264 с.
10. Будівництво та монтаж волоконно-оптичних систем передачі : підручник / О. В. Бондаренко, П. П. Воробієнко, В. О. Андреев, І. М. Панюта. – Одеса : ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2014. – 228 с.
11. Кабыш С. Все дело в муфте / С. Кабыш // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 3. – С. 64–67.
12. Подчеко А. Еще не сказанное о волоконной оптике / А. Подчеко // Сети и телекоммуникации. – 2004. – № 5. – С. 60–65.
13. Подчеко А. Еще раз о волоконных трассах / А. Подчеко // Сети и телекоммуникации. – 2004. – № 4. – С. 58–65.
14. Кабыш С. Укращення ВОЛС / С. Кабыш // Сети и телекоммуникации. – 2003. – № 8. – С. 54–57.
15. Листвин А. В. Рефлектометрия оптических волокон / А. В. Листвин, В. Н. Листвин. – М. : ЛЕСАРарт, 2005. – 208 с.
16. КНД 45-141-99. Керівництво щодо будівництва лінійних споруд волоконно-оптичних ліній зв'язку. Керівний нормативний документ держкомзв'язку та інформатизації України. – К., 1999. – 188 с.
17. ИИТ.411711.003 РЭ. Рефлектометр оптический ОР-2-2. Руководство по эксплуатации, 2003. – С. 78
18. 1049982 User guide OTDR AXS-100 Series. – 2007. – 134 p.
19. 780000102/05 User Manual OTDR MTS 8000 Acterna. – 2005. – 118 p.

20. Манько О. О. Принципи числового моделювання оптичних рефлектограм та шумових властивостей оптичних трактів / О. О. Манько // Наукові записки УНДІЗ. – 2013. – № 1(25). – С. 112–117.
21. Ніколов К. О. Рефлектометричні методи оцінки стану оптичних волокон на мережах зв'язку / К. О. Ніколов // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2015. – № 1. – С. 83–88
22. Керівництво щодо будівництва лінійних споруд волоконно-оптичних ліній зв'язку КНД-45-141-99// С. Є. Захаренко, Л. П. Бондаренко / Державне видавничо-інформаційне агенство «Зв'язок». – 2000. – 187 с.
23. Морщаков Е. А. Исследование методов анализа параметров формы сварного соединения оптических волокон / Е. А. Морщаков, В. Е. Овчаренко, О. В. Сычева // Технология приборостроения. – 2004. – № 1. – С. 13–16.
24. Филипенко О. І. Застосування автоконволюційного методу аналізу зображень фотонно-кристалічних волокон в автоматизованій системі керування процесом їх з'єднання / О. І. Филипенко, О. В. Сичова // Технология приборостроения. – 2014. – № 3. – С. 17–21.
25. Онищук О. В. Загасання у волоконно-оптичних лініях зв'язку / О. В. Онищук, К. О. Коваль // Оптоелектронні інформаційно-енергетичні технології. – 2014. – № 2 (28). – С. 129–133.
26. Григорьев В. А. Вращающийся соединитель для волоконных световодов / В. А. Григорьев // Кабели и провода. – 2010. – № 6. – С. 16–20.
27. Ионов А. Д. Линии связи / А. Д. Ионов, Б. В. Попов. – М. : Радио и связь, 1990. – 158 с.

Додаток А

Таблиця А.1 – Маркування кабелів ЗАТ «Завод «Одескабель»

Ном. поз.	Назва індексу або ознаки в індексі	Умовне позначення індексів	Розшифровка умовного позначення індексів
1	2	3	4
1	Вид кабелю	ОК	оптичний кабель
2	Область використання ОК	Л	лінійний, з силовим елементом, розташованим по центру осердя
		Т	лінійний з центральною трубкою для ОВ
3	Тип броні (індекс може бути відсутній)	Б	броня з плоских сталевих стрічок
		Бг	броня з гофрованою сталевною стрічкою
		К	броня з одного шару круглих сталевих дротів
		КК	броня із двох шарів круглих сталевих дротів
		С	броня з одного шару діелектричних стержнів
4	Негорючі оболонка й шланг ОК (індекс може бути відсутній)	Н	оболонка й шланг ОК з матеріалу, що не поширює горіння
5	Номер розробки		номінальний зовнішній діаметр ОМ
		1	2,7 мм
		2	3,0 мм
		3	2,5 мм
6	Тип центрального силового елемента	Д	діелектричний (склопластиковий) стержень
		М	металевий трос, покритий ПЕ або ПВХ
	Тип підсилювального елемента	А, 2А, 3А, 4А (варіанти)	арамідні високомодульні нитки, що збільшують стійкість кабелю до розтягувальних зусиль
		Тип і матеріал захисних покриттів	1
	2		шланг із полівінілхлоридного пластикату (ПВХ) не поширює горіння
	3		шланг із алюмополіетилену
	4		оболонка з поліетилену, сталева броня й поліетиленовий шланг
	5		те саме, але оболонка й шланг із полівінілхлоридного пластикату (ПВХ), що не поширює горіння
	6		оболонка з алюмополіетилену, сталева оцинкована броня й поліетиленовий шланг
	7		оболонка з алюмополіетилену, сталева оцинкована броня й поліетиленовий шланг

Продовження таблиці А.1

		8	поліетиленова оболонка, склопластикова броня й поліетиленовий шланг
		9	оболонка з алюмополіетилену, склопластикова броня й поліетиленовий шланг
		10	оболонка з поліетилену, броня з ламінованої сталі з електролітичним хромовим пориттям і шланг із поліетилену
		11	броня зі сталі, оболонка й шланг із пластмас, що не поширюють горіння
	Виконання шланга (індекс може бути відсутній)	П	полегшена конструкція шланга ОК
7	Структура будови осердя ОК	3×4 (варіант)	[кількість оптичних модулів в ОК] × [кількість ОВ в оптичному модулі]
	Тип волокна	Е	одномодове оптичне волокно (ООВ)
8	Позначення опорної довжини хвилі	М	багатомодове оптичне волокно (БОВ)
		В	$\lambda = 850$ нм – багатоходовий режим
		А	$\lambda = 1300$ нм – багатоходовий або одномодовий режим
		Ф	$\lambda = 1310$ нм – одномодовий режим
9	Загальна кількість ОВ і жил ДЖ у кабелі	Н	$\lambda = 1550$ нм – одномодовий режим
		12/0 (варіант)	[загальна кількість ОВ у кабелі (12 шт)] / [кількість жил дистанційного живлення в кабелі (0 шт)]

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Маркування кабелів ЗАТ «Завод «Південь-кабель»

Ном. поз.	Назва індексу або ознаки в індексі	Умовне позначення індексів	Розшифровка умовного позначення індексів
1	Вид кабелю	О	волоконно-оптичний
2	Наявність захисного шару	а	виконання з алюмополімерним захисним шаром
		Без позначення	без алюмополімерного захисного шару
3	Тип броні або армуючих елементів	Ар	шар арамідних ниток
		Б	броня з двох сталевих оцинкованих стрічок, накладених спіраллю
		Бг	броня зі сталеві гофрованої стрічки, накладеної вздовж
		К	броня з одного повиву круглих сталевих оцинкованих дротів
		2К	броня з двох повивів круглих сталевих оцинкованих дротів
		Сп	броня з повиву склопластикових стрижнів
		Без позначення	без броні та армувальних елементів
4	Тип зовнішньої оболонки	П	поліетиленова оболонка
		Пн	оболонка з полімерної композиції, що не поширює горіння
		Пп	Проміжна поліетиленова оболонка між повивами бронепокриттів типу 2К та зовнішня поліетиленова оболонка
5	Тип центрального силового елемента	С	сталевий трос або сталевий дріт з поліетиленовим покриттям
		Без позначення	діелектричний ЦСЕ (склопластиковий стержень)
6	Тип температурного виконання	ХЛ	від мінус 60 °С до плюс 60 °С
		Без позначення	від мінус 40 °С до плюс 60 °С
7	Кількість ОВ в кабелі		
8	Тип ОВ	Е	одномодове, згідно з рекомендаціями ІТУ-Т G.652В
		А	одномодове з розширеною робочою полосою довжин хвиль, згідно з рекомендаціями ІТУ-Т G.652В
		С	одномодове з ненульовою зміщеною дисперсією згідно з рекомендаціями ІТУ-Т G.655
		М	багатомодове зі співвідношенням діаметрів осердя та оболонки 50/125 мкм

Продовження таблиці Б.1

9	Число елементів у повиві осердя
10	Розподіл оптичних волокон за модулями
11	Кількість ізолюваних мідних жил в кабелі (за їх відсутності – без позначення)
12	Припустиме розтягувальне зусилля кабелю, кН

Додаток В

Таблиця В.1 – Характеристики одномодових оптичних волокон фірми Alcatel Lucent

Фірма		Alcatel Lucent			
1	2	3	4	5	
Фірмове позначення		SM-9/125	AllWave	TrueWave	TrueWave
Тип волокна		SSF	NZDSF	NZDSF	NZDSF
Відповідність ІТУ-Т		G.652	G.655	G.655	G.655
Геометричні розміри					
Діаметр модової плями, мкм на:					
$\lambda=850$ нм		9,3±0,5	9,3±0,5	-	-
$\lambda=1300$ нм		10,5±1,0	10,5±1,0	8,4±0,6	8,4±0,6
Довжина хвилі відсічки, нм	у волокні	1150...1350	-	-	-
	у кабелі	≤1260	≤1260	≤1260	≤1260
Діаметр оболонки, мкм		125,0±10	125,0±10	125,0±10	125,0±10
Діаметр покриття, мкм		245,0±10	245,0±10	245,0±10	245,0±10
Дисперсійні характеристики					
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм		1300...1322 (1312 нм)	1300...1322	1540...1560	>1450
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм·км)		≤18 (1550 нм)	-	0,8...4,6 (1550 нм)	-9 (1310 нм) 4,52 (1550 нм)
Поляризаційна модова дисперсія, пс/ $\sqrt{\text{км}}$		<0,2	≤0,5	≤0,5 (1550 нм)	≤0,5 (1550 нм)
Коефіцієнт загасання, дБ/км					
Максимальний на:					
$\lambda=850$ нм		0,35...0,40	0,35...0,40	-	-
$\lambda=1300$ нм		0,21...0,30	0,2...0,25	0,2...0,25	0,22...0,25
Максимальний у діапазоні (1285–1330) нм перевищує загасання на $\lambda=1310$ нм		Менш ніж на 0,1	Менш ніж на 0,1	-	-
Максимальний у діапазоні (1525–1575) нм перевищує загасання на $\lambda=1550$ нм		Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,3	Менш ніж на 0,27-0,3
Загасання в піку ОН (1383±3) нм		<2,0	<0,31	<1,0	<2,0
Додаткові характеристики					
Сила зняття покриття, Н		1,3...8,9	1,3...8,9	1,3...8,9	1,3...8,9

Продовження таблиці В.1

1	2	3	4	5
Ефективний груповий показник заломлення на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм	1,466 1,467	1,466 1,467	1,4738 1,4732	1,471 1,470
Числова апертура	0,12	-	-	-
Різниця показників заломлення, %	0,33	-	0,75	-
Профіль показника заломлення	сходінка	-	трикутник	-
Робочі вікна прозорості, нм	1310/1550	1285...1620	1530...1560	1525...1620

Таблиця В.2 – Характеристики одномодових оптичних волокон фірми Corning

Фірма		Corning		
1	2	3	4	
Фірмове позначення	LEAF	SMF-LS	OB з SMF-28	
Тип волокна	NZDSF	NZDSF	SSF	
Відповідність ІТУ-Т	G.652	G.655	G.652	
Геометричні розміри				
Діаметр модової плями, мкм на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм	- 9...10	6,6 8,4...0,5	9,3 \pm 0,5 10,5...1,0	
Довжина хвилі відсічки, нм	у волокні	-	-	
	у кабелі	≤ 1260	≤ 1260	
Діаметр оболонки, мкм	125,0 \pm 10	125,0 \pm 10	125,0 \pm 10	
Діаметр покриття, мкм	245,0 \pm 10	245,0 \pm 10	245,0 \pm 10	
Дисперсійні характеристики				
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм	-	1530...1560	1301,5 – 1321,5	
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм·км)	-	-	1,0...6,0 (1530...1565 нм)	
Поляризаційна модова дисперсія, пс/ $\sqrt{\text{км}}$	$< 0,2$ (1550 нм)	$\leq 0,5$ (1550 нм)	$\leq 0,5$	
Коефіцієнт загасання, дБ/км				
Максимальний на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм	$\leq 0,5$ $\leq 0,25$	$\leq 0,5$ $\leq 0,25$	$\leq 0,34$ $\leq 0,2$	

Продовження таблиці В.2

1	2	3	4
Максимальний у діапазоні (1285–1330) нм перевищує загасання на $\lambda=1310$ нм	-	-	Менш ніж на 0,05
Максимальний у діапазоні (1525–1575) нм перевищує загасання на $\lambda=1550$ нм	Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,05
Загасання в піку ОН (1383±3) нм	<1,0	<2,0	<2,1
Додаткові характеристики			
Ефективний груповий показник заломлення на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм	- 1,469	1,471 1,470	1,4675 1,4681
Числова апертура	-	0,16	0,13
Різниця показників заломлення, %	-	-	0,36
Профіль показника заломлення	трикутник	трикутник	сходінка
Робочі вікна прозорості, нм або опорні довжини хвиль	1530...1625	1530...1560	1310/1550

Таблиця В.3 – Характеристики одномодових оптичних волокон фірми Fujikura

Фірма		Fujikura		
1		2	3	4
Фірмове позначення		SM-10/125	DSM-8/125	DSMNZ-9/25
Тип волокна		SSF	NZDSF	NZDSF
Відповідність ІТУ-Т		G.652	G.653	G.655
Геометричні розміри				
Діаметр модової плями, мкм на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм		8,5...9,6 -	- 8,1	- 9,5±0,5
Довжина хвилі відсічки, нм	у волокні	1180...1320	-	1450
	у кабелі	-	-	-
Діаметр оболонки, мкм		125,0±10	125,0±10	125,0±10
Діаметр покриття, мкм		245,0±10	245,0±10	245,0±10
Дисперсійні характеристики				
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм		1301...1322	1525...1575	-
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм·км)		≤3,5 (1285...1330) нм ≤18 (1550 нм)	3,5 (1525...1575) нм	1,0...6,0 (1550 нм)

Продовження таблиці В.3

1	2	3	4
Поляризаційна модова дисперсія, пс/ $\sqrt{\text{км}}$	-	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
Коефіцієнт загасання, дБ/км			
Максимальний на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм	$\leq 0,34$ $\leq 0,22$	- $\leq 0,3$	$\leq 0,45$ $\leq 0,25$
Максимальний у діапазоні (1285–1330) нм перевищує загасання на $\lambda=1310$ нм	Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,05	-
Максимальний у діапазоні (1525–1575) нм перевищує загасання на $\lambda=1550$ нм	Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,05	$< 0,25$
Загасання в піку ОН (1383 \pm 3) нм	$< 1,0$	$< 1,0$	-
Додаткові характеристики			
Ефективний груповий показник заломлення на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм	1,465 1,465	1,468 1,468	- 1,469
Числова апертура	-	-	-
Різниця показників заломлення, %	0,36	-	-
Профіль показника заломлення	сходінка	-	-
Робочі вікна прозорості, нм або опорні довжини хвиль	1300/1550	1310/1550	1310/1550

Додаток Д

Таблиця Д.1 – Характеристики багатомодових оптичних волокон

Фірма	Alcatel Lucent	Corning		
1	2	3		
Геометричні розміри				
Діаметр осердя, мкм	62,5±3,0	62,5±3,0	50±3,0	
Неконцентричність осердя, %	≤6,0	≤5,0	≤5,0	
Діаметр оболонки, мкм	125,0±0,2	125,0±0,2	125,0±0,2	
Діаметр покриття, мкм	245,0±10	245,0±10	245,0±10	
Дисперсійні характеристики				
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм	1328 – 1350	1332 – 1354	1297 – 1316	
Коефіцієнт загасання, дБ/км				
Максимальний на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм	2,8...3,5 0,7...1,0	2,8...3,5 0,7...1,0	≤2,5 ≤0,8	2,4...2,5 0,5...0,8
Загасання на вигині (100 витків) $\lambda=1300$ нм	-	≤0,5	≤0,5	
Ширина смуги пропускання, МГц·км				
на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм	160...250 400...1000	160...200 200...600	400...600 400...1000	
Додаткові характеристики				
Ефективний показник заломлення на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм	1,496 1,491	1,496 1,487	1,490 1,486	
Різниця показників заломлення, %	2,0	2,0	1,0	
Фірма	Fujikura	Sumitomo Electric		
Числова апертура	0,275±0,015	0,275±0,015	0,200±0,015	
Профіль показника заломлення	градієнтний	градієнтний	градієнтний	
Геометричні розміри				
Діаметр осердя, мкм	50±3,0	50±3,0	62,5±3,0	100±5
Неконцентричність осердя, %	-	-	-	-
Діаметр оболонки, мкм	125,0	125,0±2,0	125,0±2,0	140,0±3,0
Діаметр покриття, мкм	250,0	250,0±10	250,0±10	250,0±10

Продовження таблиці Д.1

Дисперсійні характеристики								
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм	-	-	-	-	-	-	-	-
Коефіцієнт загасання, дБ/км								
Максимальний на:								
$\lambda=850$ нм	3,0	3,0	2,5	0,7	3,5	3,5	4,0	4,0
$\lambda=1300$ нм	1,0	1,0	-	-	1,5	1,5	2,0	2,0
Ширина смуги пропускання, МГц·км								
$\lambda=850$ нм	200 – 500	200	400	600	150	150	150	100
$\lambda=1300$ нм	200 – 500	500	-	-	500	200	500	300
Додаткові характеристики								
Ефективний показник заломлення на:								
$\lambda=850$ нм	-	-	-	-	-	-	-	-
$\lambda=1300$ нм	-	-	-	-	-	-	-	-
Різниця показників заломлення, %	-	-	-	-	-	-	-	-
Числова апертура	-	0,210±0,02	0,210±0,02	0,210±0,02	0,210±0,02	0,210±0,02	0,210±0,02	0,210±0,02
Профіль показника заломлення	градієнтний	градієнтний	градієнтний	градієнтний	градієнтний	градієнтний	градієнтний	градієнтний

Навчальне видання

**Олег Володимирович Онищук
Оксана Степанівна Городецька
Олександр Сергійович Стець**

**Напрямні системи електричного
та оптичного зв'язку**
Лабораторний практикум

Редактор Т. Старічек
Оригінал-макет підготовлено О. Городецькою

Підписано до друку
Формат 29,7×42¼. Папір офсетний.
Гарнітура Times New Roman.
Друк різнографічний. Ум. друк. арк.
Наклад пр. Зам. № 2016

Вінницький національний технічний університет,
навчально-методичний відділ ВНТУ.
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, к. 2201.
Тел. (0432) 59-87-36.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

Віддруковано у Вінницькому національному технічному університеті
в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.
ВНТУ, ГНК, к. 114.
Тел. (0432) 59-87-38,
publish.vntu.edu.ua; email: kivc.vntu@gmail.com.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.