

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**«МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ НЕРОЗ'ЄМНИХ
ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАНДАРТНИХ ОДНОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ
ВОЛОКОН ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ
КАБЕЛЬНИХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ»**

Виконав: студент 2-го курсу, групи РТ-23м
спеціальності 172 Електронні комунікації
та радіотехніка

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Карпенко П.А

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доцент каф. ІРТС

Онищук О.В.

(прізвище та ініціали)

«12» 12 2024 р.

Опонент: д.т.н., доцент., проф. каф. ІКСТ

Михалевський Д.В.

(прізвище та ініціали)

«13» 12 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

«13» 12 2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації
Спеціальність – 172 Електронні комунікації та радіотехніка
Освітньо-професійна програма – Радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2024 року

ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Карпенко Павло Андрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку»

керівник роботи Онищук Олег Володимирович, к.т.н., доц., доцент каф. ІРТС

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «17» 09.2024 р. №310.

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи: проаналізувати особливості технології зварювання оптичних волокон, вплив оптичних та геометричних параметрів волокон на якісь зварного з'єднання, розглянути існуючі методи оцінювання втрат оптичної потужності у зварних з'єднаннях, провести оцінку якості зварних з'єднань оптичних волокон доступними засобами та вимірювальними приладами, обробити результати дослідження втрат методами математичної статистики.

4. Зміст текстової частини: Вступ. Аналіз сучасного стану проблеми якості зварних з'єднань одномодових оптичних волокон. Огляд методів та засобів оцінювання якості, Розробка методики оцінювання втрат. Практичні дослідження. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): структура кабельної лінії зв'язку; Конструкція оптичної муфти; процес зварювання оптичних волокон; Втрати оптичної потужності із-за геометричних відмінностей параметрів їх серцевин; система Light Injection and Detection (LID); система Profile Alignment System (PAS); рефлектограма із відповідним подіями і неоднорідностями; візуальна оцінка характеру процесу сплавлення; рефлектограми із значеннями згасання у місцях зварних з'єднань; результати оцінювання якості зварних з'єднань (PAS); результати вимірювання втрат у зварювальних з'єднаннях другого ступеня (OTDR).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доцент каф. ІРТС, доцент, к.т.н. Онищук О.В.		
Економічна частина	доцент каф. ЕПВМ, доцент, к.е.н., Кавецький В.В.		

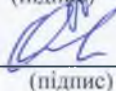
7. Дата видачі завдання 16.09.2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2024-07.09.2024	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2024-16.09.2024	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	17.09.2024-30.09.2024	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	01.10.2024-20.10.2024	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	21.10.2024-04.11.2024	
6.	Розробка ілюстративної частини МКР.	05.11.2024-15.11.2024	
7.	Економічна частина.	16.11.2024-25.11.2024	
8.	Оформлення пояснювальної записки та ілюстративної частини.	26.11.2024-01.12.2024	
9.	Нормоконтроль.	02.12.2024-07.12.2024	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	09.12.2024-12.12.2024	
11.	Захист МКР ЕК.	14.12.2024-17.12.2024	

Студент

Керівник роботи


(підпис)

(підпис)

Карпенко П.А

Онищук О.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 681.3:001.681

Карпенко П.А. Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 93 с. На українській мові. Бібліогр.: 25 назв; Табл. 16; Рис. 29 .

У магістерській кваліфікаційній роботі обґрунтовано методику оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку. Досліджено основні аспекти, що призводять до появи втрат у неякісно виконаних зварних з'єднаннях.

Представлено результати експериментальних досліджень втрат у зварних з'єднань з допомогою сучасних засобів методів та засобів метрологічного контролю.

Сформульовано практичні рекомендації щодо покращення оптичних параметрів кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку з допомогою запропонованої у роботі методики.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини.

Ключові слова: одномодове оптичне волокно, зварне з'єднання, втрати, загасання.

ABSTRACT

Karpenko P.A. Methods and means of assessing the quality of non-separable welded joints of standard single-mode optical fibers during the construction and operation of cable fiber-optic communication lines. – Vinnytsia: VNTU, 2024. – 93 p. In Ukrainian. Bibliography: 25 titles; Table. 16; Fig. 29 .

The master's qualification work substantiates the methodology for assessing the quality of non-separable welded joints of standard single-mode optical fibers during the construction and operation of cable fiber-optic communication lines. The main aspects that lead to the appearance of losses in poorly made welded joints are investigated.

The results of experimental studies of losses in welded joints using modern methods and means of metrological control are presented.

Practical recommendations are formulated for improving the optical parameters of cable fiber-optic communication lines using the methodology proposed in the work.

Also in the master's qualification work, calculations of the economic part were performed.

Keywords: single-mode optical fiber, splice, losses, attenuation.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ОДНОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН	10
1.1 Фізичні основи волоконної оптики	10
1.2 Кабальні волоконно-оптичні лінії зв'язку	20
1.3 Особливості процесу зварювання оптичних волокон	30
1.4 Аналіз втрат оптичної потужності у зварних з'єднаннях	33
1.5 Висновки до розділу	36
2 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ОДНОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН	38
2.1 Методи оцінювання якості зварних з'єднань PAS та LID	38
2.2 Вимірювання загасання методом зворотного розсіювання OTDR	41
2.4 Обробка результатів вимірювання (рефлектограм).....	45
2.5 Методика дослідження якості оптичних волокон	49
2.6 Висновок до розділу.....	53
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ У ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН.....	54
3.1 Дослідження якості зварних з'єднань	54
3.2 Вимірювання втрат при зварюванні	57
3.3 Висновок до розділу	59
4 ЕКОНОМІЧН ЧАСТИНА	60
4.1 Оцінювання наукового ефекту	60
4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	64
4.3 Оцінювання важливості та значимості науково-дослідної роботи.....	78
4.4 Висновок до розділу	79
ВИСНОВКИ.....	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	84
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки роботи.....	92

ВСТУП

Актуальність теми.

Сучасні транспортні телекомунікацій мережі і мережі доступу стрімко розвиваються та збільшуються. Це зумовлено зростаючим попитом користувачів інформаційних сервісів і послуг, а також необхідністю операторів і провайдерів зв'язку забезпечувати високошвидкісну передачу даних.

Для розбудови сучасних телекомунікаційних мереж найчастіше використовують оптичні кабелі зв'язку, які на даний час вважаються найдосконалішими та найперспективнішими напрямними системами для обміни та поширення великих обсягів інформації на значні відстані. При цьому, для влаштування з'єднань та розгалужень оптичних кабелів використовується нероз'ємні з'єднання, отримані зварювання оптичних волокон у розряді електричної дуги з допомогою спеціальних зварювальних апаратів. При цьому дуже важливо забезпечити високоякісне зварне з'єднання із мінімальними втратами оптичної потужності, що у більшості випадків ускладняється "польовими" умовами виконання будівельно-монтажних робіт, а також віковими змінами оптичних та геометричних параметрів оптичних волокон в процесі експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Тож питанню оцінювання якості зварних з'єднань необхідно приділяти особливу увагу як на етапах виконання будівельно-монтажних робіт, так і під час експлуатації оптичних ліній зв'язку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконана на кафедрі інформаційних радіоелектронних технологій і систем Вінницького національного технічного університету згідно з планом наукових досліджень Вінницького національного технічного університету в рамках кафедрального тематичного плану 32КЗ «Методи і засоби формування й оброблення інформаційно-вимірювальних сигналів» (науковий керівник – д.т.н., проф., завідувач кафедри ІРТС Осадчук О.В.), і

відповідає пріоритетному напрямку розвитку науки і техніки в Україні «Розвиток інформаційних і комунікаційних технологій».

Мета, об'єкт і предмет дослідження.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є зменшення втрат у волоконно-оптичних лініях зумовлених загасанням оптичного сигналу у нероз'ємних з'єднаннях з допомогою відповідних методів та засобів оцінювання якості зварювання одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Об'єкт дослідження – є методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних (зварних) з'єднань одномодових оптичних волокон.

Предмет дослідження – є втрати оптичної потужності, що виникають у зварних з'єднань, зумовлені некоректним виконанням монтажних робіт волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Задачі дослідження

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

1. Вибір наукових методів та напрямків дослідження, сформулювати постановку завдання на основі існуючих теоретичних і експериментальних підходів дослідження параметрів одномодових оптичних волокон.

2. Аналіз оптичних та геометричних параметрів стандартних одномодових оптичних волокон та з'ясування причини появи загасання оптичного сигналу у неякісно виконаних зварних з'єднаннях.

3. Дослідження втрат у волоконно-оптичних ліній зв'язку, отриманих в результатів вимірювання загасання оптичної потужності місцях нероз'ємних з'єднань одномодових оптичних волокна.

4. Комп'ютерне моделювання.

5. Розрахунки економічної частини.

Методи дослідження

Дослідження здійснене з використанням загальної теорії фізичної оптики та математичних чисельних методів розрахунку; теорії планування

експерименту і комп'ютерного моделювання для перевірки отриманих результатів. Для оцінювання адекватності теоретичних побудов використовується натурний експеримент з наступною обробкою отриманих результатів статистичними методами.

Новизна одержаних результатів

Теоретичне значення отриманих результатів полягає в тому, що удосконалено методику оцінювання якості зварних з'єднань оптичних волокон, що враховує характер сплавлення оптичних волокон у розряді електричної дуги, а також вимірювання втрат у нероз'ємних з'єднаннях оптичним рефлектометра у двох напрямках.

Практичне значення отриманих результатів полягає у сформульованих рекомендаціях щодо забезпечення якісних зварних з'єднань стандартних одномодових волокон, які можуть використовуватись будівельно-монтажними організаціями та операторами зв'язку для підвищення надійності та зменшення втрат у кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Публікації

За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 друковану працю [5].

Обсяг і структура роботи

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 16 таблиць, 29 рисунка та 25 літературних джерел.

1 АНАЛІЗ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

1.1 Фізичні основи волоконної оптики

Оптичне волокно

Оптичне волокно (ОВ) - це хвилевід, який є діелектриком і складається зі сферичної серцевини, через яку поширюється оптичний сигнал, і зовнішньої оболонки, яка її оточує. Ця оболонка функціонує як внутрішнє дзеркало та забезпечує утримання сигналу у межах серцевини по всій довжині оптичного волокна (рис. 1.1). Променева теорія стверджує, що поширення оптичного сигналу в серцевині оптичного волокна спричинено ефектом внутрішнього відбиття, оптичний сигнал відокремлений від середовища оболонки межею розділу, яка має інший показник заломлення [1].

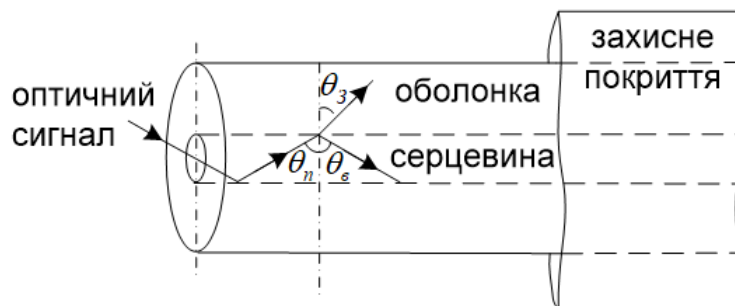


Рисунок 1.1 – Поширення оптичного сигналу у оптичному волокні

В оптичному волокні перший показник заломлення серцевини більший за другий показник заломлення оболонки. Залежно від кута падіння оптичного променя на межі розділу середовищ серцевини та оболонки, частина оптичного випромінювання відбиватиметься під кутом відбивання і повертається до серцевини, інша частина заломлюється під кутом заломлення до поверхні розділу і розсіюється в оболонці (рис. 1.1). Сигнал, який досяг внутрішнього шару оболонки оптичного волокна, експоненціально згасає.

Закон Снеліуса стверджує, що кут падіння пов'язаний з кутом відбиття наступним співвідношенням [2]

$$n_1 \sin(\theta_{\text{п}}) = n_2 \sin(\theta_{\text{в}}), \quad (1.1)$$

де n_1, n_2 – показники заломлення серцевини та оболонки відповідно;
 $\theta_{\text{п}}, \theta_{\text{в}}$ – відповідно кути падіння та відбивання.

Якщо оптичне випромінювання сфокусувати на торцові волокна, то промені матимуть різні кути відносно оптичної осі. Деякі промені досягнуть великого кута з серцевиною, вони негайно покинуть серцевину та розсіються в оболонці. Решта променів, які мають менший кут падіння, поширюватимуться по довжині оптичного волокна через ефект внутрішнього відбиття. У результаті виникає тілесний кут, у межах якого оптичні промені, розташовані в межах оптичного волокна, будуть проходити по всій довжині волокна. Величина цього кута є номінальною чи ефективною числовою апертурою [2, 3]

$$NA = n_0 \sin \theta_{\text{max}}, \quad (1.2)$$

де n_0 – де показник заломлення середовища.

Окрім ефективною числовою апертури, також присутня числова апертура-безрозмірне число, яке визначається виразом: $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$. Величина розміру числової апертури становить від 0,1 до 0,5 залежно від діаметра волокна (меншому діаметру буде відповідати менший розмір числової апертури).

У прикладі, який розглянутий вище, оптичний сигнал в серцевині поширюється в одному напрямку, а на межі поділу середовища серцевина-оболонка змінює свій напрямок і тепер знову поширюється в одному напрямку (рис. 1.2). Це досягається тим, що розподіл показника заломлення серцевини

незмінний по його діаметру, а на межі середовищ серцевина-оболонка різка зміна показника заломлення проявляється у вигляді сходинки. Ці оптичні волокна називаються такими, що мають ступінчастий профіль показника заломлення. Відповідна властивість розподілу значень показника заломлення у перерізі оптичного волокна зображена на рисунку 1.2 [1].

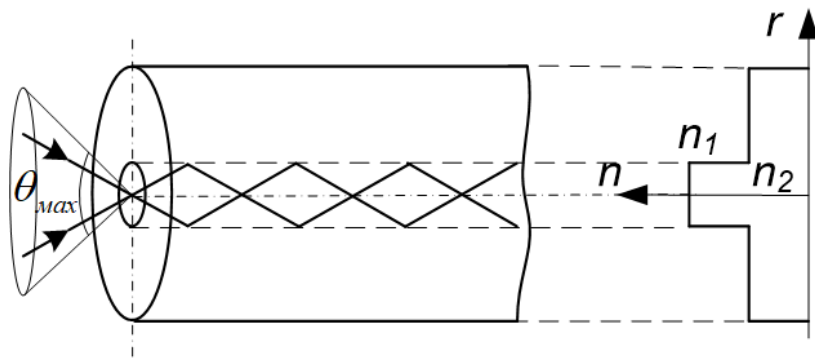


Рисунок 1.2 – Ступінчастий профіль заломлення волокна

Розглядаються також оптичні волокна з плавним зменшенням показника заломлення в центрі серцевини. Це призводить до того, що оптичний сигнал в серцевині не поширюється лінійним шляхом, а натомість перетворюється на закручену дугу (рис. 1.3). Ці оптичні волокна називають такими, що мають градієнтний профіль показника заломлення [1,3]. Їх розподіл показників заломлення у серцевині подібний до параболи, а на межі зміни серцевини і оболонки відсутній різкий перепад показників, подібний до ступінчасті числа.

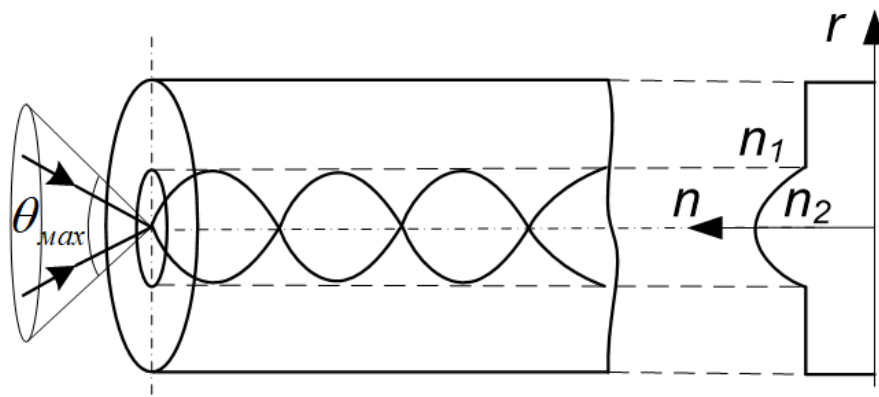


Рисунок 1.3 – Градієнтний профіль показника заломлення волокна

Довжина хвилі оптичного випромінювання, показник заломлення сердцевини та оболонки враховуються у формулі для обчислення V , яка також відома як нормалізований час роботи або частота зрізу, яка визначається за формулою

$$V = \pi d \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / \lambda, \quad (1.3)$$

де d – діаметр сердцевини волокна.

Теорія електродинаміки припускає, що оптичне випромінювання або оптичний сигнал можна представити у вигляді електромагнітної хвилі (коливань), яка є сумою складових електромагнітних полів: електричного (вектор напруженості E) і магнітного (вектор напруженості H). Різні комбінації цих векторів представляють різні типи хвиль, які називаються модами.

Параметр хвилі визначає кількість груп режимів, які можуть бути передані через оптичне волокно, або спосіб, у який оптичне волокно працює. Наприклад, коли $V < 2,4048$, лише один режим HE_{11} буде активним в оптичному волокні і називається одномодовим режимом. Коли V збільшується, стають очевидними моди вищого порядку, і оптичні волокна починають працювати у багатомодовому режимі. Крім того, мінімальна довжина хвилі, на якій оптичне волокно підтримує лише одну моду, називається довжиною хвилі відсічки, значення якої виводиться з формули [1, 5]

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

Різні типи волокон і кабелів мають різні частоти відсічки. З практичної точки зору максимальна допустима довжина кабелю є більш важливою. Це викликано тим, що оптичні волокна розташовані в кабелі, який багаторазово

згинається і натягується під час монтажу. Все це призводить до придушення альтернативних мод і зсуву довжини зрізу кабелю в бік коротких хвиль, коротших за довжину хвилі відсічки волокна. На відміну від оптоволоконного кабелю, частоту відсічки кабелю можна визначити лише експериментально. Значення, пов'язані з частотою зрізу кабелю, повинні бути задокументовані у паспортній документації на волоконно-оптичний кабель.

В результаті кількість мод, які можуть поширюватися у оптичному волокні, обмежена і залежить від діаметра серцевини d і довжини хвилі оптичного випромінювання λ . Зі збільшенням діаметра і зменшенням довжини хвилі кількість мод стрімко зростає. Залежно від кількості мод, які можуть поширюватися в оптичному волокні, розрізняють одномодові та багатомодові волокна [2, 3, 4].

У одномодових оптичних волокнах діаметр серцевини та довжина хвилі прямо пропорційні ($d \approx \lambda$), що означає, що лише один тип хвиль HE_{11} може поширюватися через одномодове волокно: основна мода найнижчого порядку, яка є єдиний режим, який можна використовувати для передачі більшої частини енергії оптичного сигналу. Діаметр серцевини одномодового волокна становить 6-8 мікрометрів, а оболонки - 125 мікрометрів. Оптичні властивості одномодових оптичних волокон змінюються на робочій довжині хвилі 1310 або 1550 нм. У таблиці 1.1 наведені геометричні параметри та оптичні властивості одномодового оптичного волокна (згідно з рекомендаціями МСЕ G.652), цей кабель рекомендований для використання в мережі зв'язку України.

У волоконно-оптичному кабелі, який має кілька мод, діаметр сердечника більший за довжину хвилі ($d > \lambda$), і кілька різних типів хвиль (нижчого та високого порядку) можуть поширюватися по цьому кабелю. Діаметр серцевини становить 50-60 мкм, а оболонки - 125 мкм. Робочі довжини хвиль: 850 і 1300 нм використовуються для передачі інформації по багатомодовим оптичним волокнам. Оптичні та геометричні властивості різних багатомодових оптичних волокон представлені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Характеристики одномодових оптичних волокон

Фірма		Alcatel Lucent			
1		2	3	4	5
Фірмове позначення		SM-9/125	AllWave	TrueWave	TrueWave
Тип волокна		SSF	NZDSF	NZDSF	NZDSF
Відповідність ITU-T		G.652	G.655	G.655	G.655
Геометричні розміри					
Діаметр модової плями, мкм на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм		9,3 $\pm$ 0,5 10,5 $\pm$ 1,0	9,3 $\pm$ 0,5 10,5 $\pm$ 1,0	- 8,4 $\pm$ 0,6	- 8,4 $\pm$ 0,6
Довжина хвилі відсічки, нм	у волокні	1150...1350	-	-	-
	у кабелі	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260
Діаметр оболонки, мкм		125,0 $\pm$ 10	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	245,0 $\pm$ 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	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$ (1550 нм)	$\leq 0,5$ (1550 нм)
Коефіцієнт загасання, дБ/км					
Максимальний на: $\lambda=850$ нм $\lambda=1300$ нм		0,35...0,40 0,21...0,30	0,35...0,40 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 $\pm$ 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 1.1 – Характеристики одномодових оптичних волокон

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 1.2 – 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: λ=850 нм λ=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) λ=1300 нм	-	≤0,5	≤0,5	
Ширина смуги пропускання, МГц·км				
на: λ=850 нм λ=1300 нм	160...250 400...1000	160...200 200...600	400...600 400...1000	
Додаткові характеристики				
Ефективний показник заломлення на: λ=850 нм λ=1300 нм	1,496 1,491	1,496 1,487	1,490 1,486	
Різниця показників заломлення, %	2,0	2,0	1,0	

Продовження таблиці 1.2 – Характеристики багатомодових оптичних волокон

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

При поширенні у оптичному волокні потужність оптичного сигналу зменшується. Це явище відоме як втрата оптичного сигналу. Загасання залежить від максимальної довжини лінії зв'язку. Основною причиною ослаблення є Релеївське розсіювання оптичного сигналу на мікронеоднорідностях (коливаннях щільності та складу матеріалу) оптичного волокна, а також поглинання оптичного сигналу через електронні переходи та резонанси в матеріалі, який перетворює частину енергії оптичного сигналу в тепло.

Поглинання та Релеївське розсіювання залежать від довжини хвилі оптичного випромінювання (рис. 1.4).

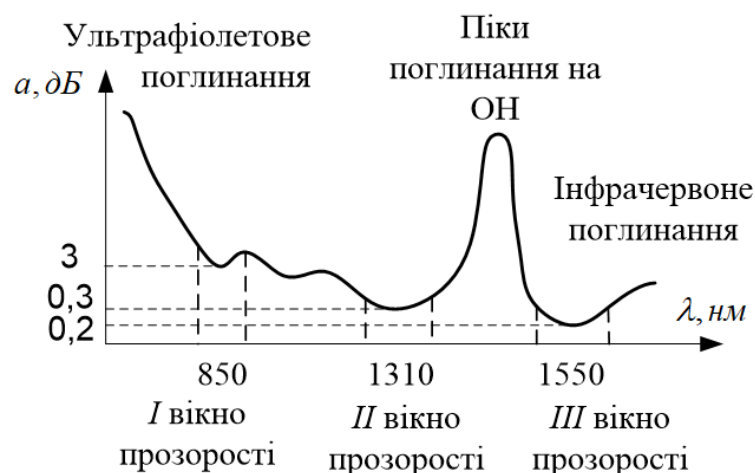


Рисунок 1.4 – Залежність загасання у оптичному волокні від довжини хвилі

Із залежності на графіку рисунку 1.4 можна помітити, що поглинання інфрачервоного випромінювання стає більшим із збільшенням довжини хвилі, а поглинання ультрафіолетового випромінювання стає більшим для більших довжин хвиль. Крім того, в оптичних волокнах існує також оптичне поглинання через склад волокна. Найбільший внесок у ступінь ослаблення вносять домішки гідроксидної групи. У результаті на графіку залежності ослаблення від довжини хвилі для оптичних волокон, що складаються з чистого кварцового скла, можна спостерігати три вікна прозорості: 0,85, 1,31 і 1,55 мкм (рис. 1.4). Ці довжини хвиль використовуються для передачі оптичних сигналів у сучасних оптичних лініях передачі [2-4].

Звичайним є визначення ослаблення оптичного сигналу для певної довжини хвилі на кожному кілометрі лінії. Наприклад, значення кілометрового загасання для одномодового оптичного волокна на довжині хвилі 1310 нм становить 0,3 дБ/км, а для довжини хвилі 1550 нм — 0,2 дБ/км. Розрахункове значення кілометричного загасання має бути задокументовано в паспортній документації на оптичний кабель.

Ще одним важливим атрибутом оптичних волокон є їх дисперсія, яка є різницею в часі між компонентами оптичного сигналу, пов'язаними із спектром або модою, ця властивість призводить до збільшення тривалості (протяжності) оптичного імпульсу під час його поширення у волокні, і визначається різницею квадратів тривалості імпульсів на вході та виході волокна [1-5]

$$\tau = \sqrt{\tau_{вих}^2 - \tau_{вх}^2}, \quad (1.5)$$

де $\tau_{вих}$, $\tau_{вх}$ - тривалості на виході та вході, що визначаються половиною амплітуди імпульсів.

У процесі розповсюдження в оптичному волокні дисперсійний характер середовища деформує оптичні імпульси, в результаті імпульси перекриваються і виникають помилки на приймальній стороні (рис. 1.5).

Розрізняють три різновиди дисперсії: модальну або інтермодальну (модальну), хроматичну та поляризаційну (поляризаційну модальну) дисперсію.

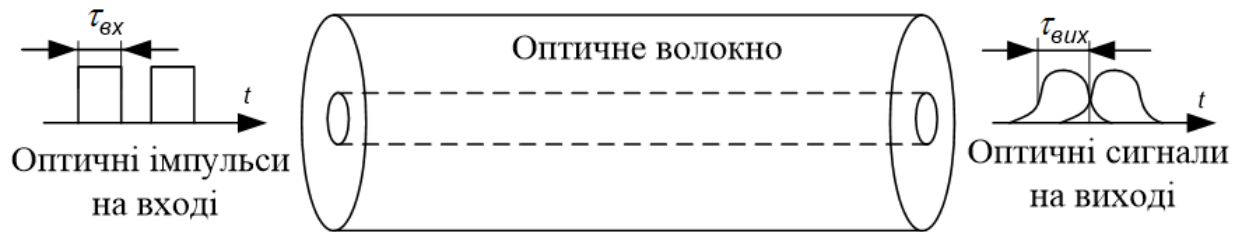


Рисунок 1.5 – Пояснення явища дисперсії

Розподіл мод є основною формою дисперсії в багатомодових волокнах, які мають ступінчастий профіль показника заломлення. Це тому, що різні режими рухаються з однаковою швидкістю вздовж волокна, але мають різні шляхи, що призводить до різного часу надходження на кінці волокна. В одномодових оптичних волокнах тривалість імпульсу збільшується за рахунок двох ефектів: хроматична дисперсія (D) і поляризаційна модові дисперсія (PMD). Як правило, спостерігається хроматична дисперсія, а поляризаційні модова починає проявлятися при швидкості передачі понад 10 Гбіт/с і відстані між точками регенерації в кілька сотень кілометрів [3, 5].

Хроматична дисперсія переважає у одномодовому оптичному волокні і зумовлена кінцевою шириною спектра оптичного сигналу, що випромінюється у волокно. Спектр цього оптичного випромінювання складається з декількох різних довжин хвиль. Хроматична дисперсія виникає, коли різні довжини хвиль в середовищі поширюються з різною швидкістю. Це призводить до того, що оптичні імпульси розповсюджуються в часі, коли вони поширюються вздовж волокна [2, 4].

Продемонстровано режим розсіювання поляризації в одномодовому оптичному волокні через неідеальність геометричної конструкції та наявність напруги в механічній системі. Зокрема, через порушення циліндричної

симетрії (еліптичності) серцевини та оболонки компоненти оптичного сигналу, перпендикулярні осі поляризації, мають різні швидкості, що призводить до дисперсії та призводить до помилок під час прийому інформації. Розподіл моди поляризації має найбільший вплив на високошвидкісні системи передачі.

Розсіювання впливає на обсяг або кількість інформації, що передається у волоконно-оптичній лінії. Зв'язок між розсіюванням і пропускну здатністю становить приблизно $1/\Delta F$. Чим довша лінія, тим більше обмеження діапазону частот і зменшення дальності передачі, як наслідок, тим більша тривалість імпульсів.

Величина розмірності коефіцієнта дисперсії визначається за формулою

$$D(\lambda) = (1/L) \cdot (\Delta\tau/\Delta\lambda). \quad (1.6)$$

Приріст затримки зазвичай вимірюється в пікосекундах ($1 \text{ пс} = 10^{-12} \text{ с}$), довжина волокна вимірюється в кілометрах, а ширина інтервалу спектра вимірюється в нанометрах ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$). З цього ми робимо висновок, що коефіцієнт дисперсії виражається в одиницях ($\text{пс}/\text{нм} \cdot \text{км}$). У результаті нахил коефіцієнта дисперсії $S = D(\lambda)/(\lambda - \lambda_0)$ записується в одиницях ($\text{пс}/(\text{нм}^2 \cdot \text{км})$). У паспортні на оптичний кабель вказується значення дисперсії.

1.2 Особливості процесу зварювання оптичних волокон

Сучасні лінії зв'язку складаються з опитного кабелю, який прокладається за певною графічною трасою. Кабальні волоконно-оптичні лінії зв'язку з'єднують різні частини телекомунікаційних мереж, вузли, пункти підсилення та регенерації, які є частиною системи зв'язку.

Ці лінії складається з оптичних кабелів зв'язку, які містять відповідну оптичну напрямну систему, через яку передається сигнал, а також муфти, що з'єднують відрізок кабелю з мережею (рисунок 1.6).. Окрім цього до складу

кабельної лінії зв'язку можуть входити засоби та пристрої для захисту лінії від несприятливих впливів (заземлення, контрольно-вимірювальні пункти та таке інше).



Рисунок 1.6 – Структура кабельної лінії зв'язку

На сучасному етапі розвитку телекомунікаційних мереж найбільшого поширення набули кабельні волоконно-оптичні лінії зв'язку для побудови транспортних мереж. Розглянемо такі їх основні конструктивні елементи як оптичні кабелі та муфти.

Оптичні кабелі

Конструкція оптичного кабелю повинна гарантувати захист оптичних волокон як під час прокладання, так і під час експлуатації кабелю. Основними властивостями оптичних кабелів зв'язку є [7, 8]:

- максимальна допустима міцність на розрив, кН;
- максимально допустиме зусилля на затиснення, Н/1000 мм;
- ударна міцність, Ньютон;
- мінімальний радіус згину, мм;
- температури експлуатації, зберігання, монтажу, °С;
- стійкість до дозволеного проходження вологи;
- стійкість до впливу горіння.

Основними компонентами оптичного кабелю зв'язку є [7, 8]:

- оптичні волокна;
- захисне покриття.
- компоненти підсилювання міцності;

Оптичні волокна, що входять до складу оптичного кабелю, покриваються захисною плівкою товщиною 5-10 мкм, яка запобігає утворенню мікротріщин. Основне захисне покриття оптичного волокна складається з акрилатної смоли діаметром 250 ± 15 мкм, яка наноситься на глазуровану поверхню оболонки волокна. Завдання наступних шарів — зменшити вплив поперечних сил на оптичне волокно та збільшити його еластичність. Він може служити буфером для еластичного полімеру, який захищає від бічного тиску, або додатковим шаром полімеру, який має високий модуль пружності, який діє на розтяг і стиснення.

Центральна частина оптичного кабелю, яка містить оптичні волокна, може мати кілька конфігурацій: одномодульну, багатомодульну з концентричним виконанням або профільовану.

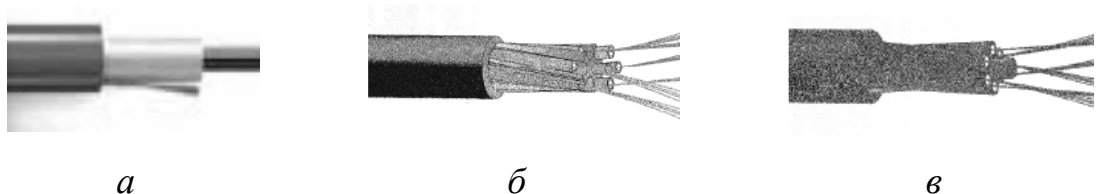


Рисунок 1.7 – Структура серцевини оптичного кабелю:

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

Одномодульна серцевина оптичного кабелю представляє собою трубку, що містить кілька повітів оптичних волокон, у кожному з яких може бути до 12 волокон (рис. 1.7, *а*). Для підсилення оболонок кабелю з одномодульною серцевиною використовуються два дроти. Мінусом такого підходу є низьке подовження кабелю на розтяг. Одномодульна конструкція серцевини відповідає за зменшення діаметра кабелю, цей кабель використовується в

локальних мережах для підвішування на опорах або прокладання в каналах кабельної каналізації.

Багатомодульна внутрішня структура серцевини складається з модульних трубок, які скручуються навколо центрального силового елементу (рис. 1.7, б). Коли оптичний кабель зазнає поздовжнього розтягувального навантаження, модульні трубки пружинять як спіраль. При цьому оптичні волокна не зазнають механічних навантажень. Цей тип кабелю використовується для зовнішніх ліній зв'язку. Він може мати від 6 до 12 модульних трубок, що оточують центральний компонент живлення, кожна з яких може містити від 2 до 12 волокон. Таким чином ємність кабелю може досягати 144 волокон.

Профільована структура сердечника забезпечує найбільший захист і найбільшу міцність кабелю (рис. 1.7, в). Він може мати кілька канавок, кожна з яких містить від 2 до 8 оптичних волокон. В результаті ємність даної конструкції становить 48 оптичних волокон.

Компоненти кабелю (оптичні волокна та модуля) відрізняються кольоровим кодуванням. Кожне виробниче підприємство має власну ідентифікацію. Наприклад, у вітчизняних виробників лічильний модуль має червоний або оранжевий колір, напрямний модуль – смарагдовий. Якщо у кабелі є корделі заповнення, їх можна використовувати для підрахунку та спрямування модулів.

Вільний простір в оптичних компонентах, в пазах і між модульними трубками заповнений тиксотропною гідрофобною речовиною (компаундом), яка сприяє подовжній стабільності кабелю і екранує волокна від впливу повітря і вологи.

Центр оптичного кабелю оточений металевою та поліетиленовою оболонкою, яка є серцевиною кабелю. Як правило, оболонка складається з поліетилену, який має як фізичні, так і діелектричні властивості. Поліетиленовий кабель стійкий до вологи і може витримувати як низькі, так і високі температури, він також не здатний змінювати свої фізичні властивості

в результаті зміни температури навколишнього середовища. Характеризується хорошою стійкістю до ультрафіолетового випромінювання, багатьма хімічними та механічними властивостями тощо.

Кабельні оболонки складаються з поліетилену різної щільності. Найбільш потужним є поліетилен високої щільності - HDPE (High Density Polyethylene), який використовується під час створення кабелів для прокладки у ґрунті або в кабельній каналізації. Оболонка з MDPE (поліетилен середньої щільності) широко використовується в конструкції кабелю зв'язку. Поліетилен низької щільності - LDPE (Low Density Polyethylene) використовується в екранованому кабелі, який має металеву броню. Зокрема, при створенні цих кабелів зовнішній захисний шланг складається з поліетилену MDPE, а внутрішня частина, яка знаходиться під сталевим екраном, складається з поліетилену LDPE.

Кабелі, які призначені для використання в середині об'єктів, в промислових парках, в тунелях метрополітену, повинні бути захищені від пожежі. Як наслідок, оболонка цих кабелів не повинна сприяти горінню (не підтримує полум'я) і не виділяти галогени (низький дим без галогену) або інші токсичні хімікати у разі пожежі. Для цього оболонка кабелю складається з поліетилену або полівінілхлориду, до якого додають спеціальні хімічні речовини.

Щоб забезпечити необхідну механічну стабільність і запобігти надмірному механічному навантаженню, компоненти живлення включені в конструкцію оптичного кабелю. Майже в усіх кабелях використовуються нитки Ківлар, які намотуються навколо жил кабелю і забезпечують мінімально необхідну силу розтягування 1000-2000 Н. Для збільшення механічної міцності використовуються один центральний або два бокових компоненти живлення, які можуть бути діелектричними або метал. Конструкція центрального силового елемента надає кабелю гнучкості, а конструкція з двома бічними елементами збільшує його опір розтягуванню. Для забезпечення найбільшого ступеня механічного та електричного опору, а

також для збільшення сили розтягування на кілька сотень ньютонів використовується кабельна броня – частина захисного покриття, що складається з металевих стрічок або кількох шарів металевого дроту.

Зовнішнім компонентом оптичних кабелів може бути захисний шланг, який є безперервним і складається з пластику або гуми.

На зовнішній стороні оболонки кабелю через кожні 1000 мм наноситься позначка, що містить марку кабелю, тип температурного виконання, кількість оптичних волокон у кабелі, кількість елементів у котушці жили, допустима розтяжність кабелю, назва виробника або його індекс, а також рік виробництва кабелю, все це включено в вимірювання.

Доступні різноманітні конструкції волоконно-оптичних кабелів, які класифікуються за призначенням, застосуванням, способом прокладки, структурними та технологічними властивостями тощо. ІТУ-Т класифікує волоконно-оптичні кабелі як внутрішні та зовнішні.

Внутрішні оптоволоконна використовуються в середині об'єктів, у тому числі промислових, у тунелях метро та інших місцях. Ці кабелі відрізняються підвищеною вогнестійкістю, гнучкістю та легкою конструкцією. Вони мають одношарове захисне покриття, що складається з полівінілхлориду. На рисунку 1.8, *а* зображено кабель I_V(ZN)H 1x6 G50/125 для внутрішнього використання [I]. Волокна розташовані в оболонці діаметром 900 мікрометрів [V]. Цей кабель виготовлений із пластику або іншого матеріалу, який не містить заліза. 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].

Версії оптичного кабелю для зовнішнього використання мають додаткові компоненти, які підвищують захищеність від зовнішніх впливів. Створення цих кабелів здійснюється з одномодульною серцевиною, що призводить до зменшення діаметра та ваги кабелю. Такі зразки кабелю використовують у містах і населених пунктах для з'єднання будівель і пристроїв зв'язку на відстані кількох кілометрів.

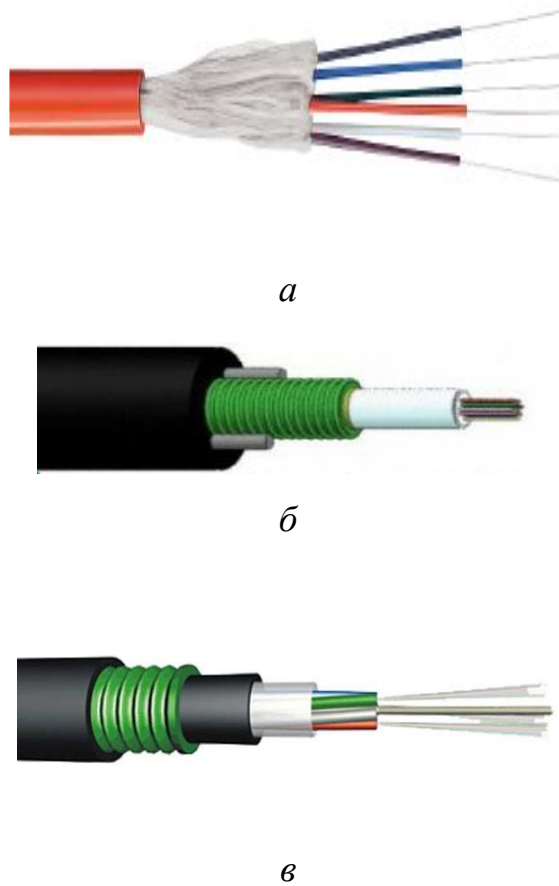


Рисунок 1.8 – Оптичні кабелі:

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

На рисунку 1.8, *б* зображено кабель ОЦБГП-4А1(1x4)-1,5 виробництва заводу «Південь-кабель». Кабель містить центральний оптичний модуль, поверх якого накладена внутрішня полімерна оболонка, броньове покриття з гофрованої сталевий стрічки, ламінованої поліетиленом [ВgР]. Зовнішня оболонка цього кабелю складається з поліетилену та двох сталевих дротів, які забезпечують максимальне розтягувальне зусилля 1,5 кН. У центральному оптичному модулі є чотири одномодових волокна G652 (1x4). Порожній простір в оптичному модулі покритий гідрофобною речовиною. Цей оптичний кабель можна використовувати в системах зв'язку, що мають міжміську, зонну

або міську (міську) складову. Його також можна використовувати для передачі цифрової або аналогової інформації. Довжина цього кабелю становить 12 мм. Це полегшує його розміщення в кабельних каналах, трубах, блоках та інших конструкціях, а також на зовнішніх поверхнях будівель і споруд.

Використовуються оптичні волокна зі спеціальними компонентами, призначені для побудови первинних ліній зв'язку. У цих кабелях використовуються одномодові оптичні волокна (8/125 мкм) і сигнали з довжиною хвилі 1,3...1,55 мкм, які мають низький ступінь загасання, дисперсію і високу пропускну здатність інформації. Центральна частина цих кабелів багатомодульна. Середина модулів і міжмодульний простір покриті гідрофобною речовиною. Магістральні кабелі укріплені дротяною або гофрованою бронею, екрановані зовнішнім поліетиленовим шлангом. Кабелі такої конструкції призначені для розміщення в ґрунтах будь-якої складності, при проходженні мілководних шляхів, несудноплавних річок і т. інше. Унікальним атрибутом їх конструкції є висока механічна міцність (стійкість на розрив), наявність спеціальних структурних компонентів для захисту від гризунів, а також вологостійкість і розширений діапазон робочих температур. Якщо кабель призначений для прокладання в гірській місцевості, у ґрунтах з вічною мерзлотою, по дну річок і морів, то використовується подвійний броньований захист із дротів.

Наприклад, на рисунку 1.8, в зображено магістральний кабель ОЦЛБг-3-ДА(2,7)2П-6х4Е1-0,40Ф3,5/0,30Н19-24/0, який виготовляється на заводі «Одескабель». Це оптичний кабель, який призначений для зовнішнього використання (L). Він складається з двох поліетиленових оболонок (2Р): зовнішня оболонка, покрита металевою бронею, яка складається з гофрованої стрічки (Bg). G652 одномодові волокна організовані в шість окремих трубок, чотири з яких використовуються на (6х4Е1). У другому вікні прозорості (F) на довжині хвилі 1310 нм хроматичне поширення становить 3,5 пс/(нм·км), а загасання становить 0,4 дБ/км. У третьому вікні прозорості (Н) на довжині хвилі 1550 нм дисперсія збільшується до 18 пс/(нм·км), загасання зменшується

до 0,3 дБ/км. Загальна кількість волокон 24, віддалені вени відсутні (24/0). Зовні модульні труби, а також зазор між ними заповнені водостійким гідрофоном. В якості силових компонентів використовуються волокна ківлару та центральний неметалевий компонент (DA(2.7)), які забезпечують зусилля 2,7 кН. Інші технічні характеристики виробника задокументовані в супровідній та паспортній документації.

Оптичні муфти

Оптичні муфти використовуються для з'єднання відрізків оптичного кабелю та здійснення розгалужень в оптичних телекомунікаційних мережах. Сьогодні до муфт пред'являються високі вимоги щодо надійності, механічної потужності і компактності. Насамперед оптичні муфти повинні забезпечувати монтаж оптичного кабелю різної конфігурації та захист зварних з'єднань від зовнішніх сил, у тому числі хімічних і механічних впливів.

Крім того, вони не повинні зменшувати опір ізоляції або випробувальну напругу захисного шланга оптичного кабелю, вони повинні бути стійкими до впливу жорстких середовищ (нафтопродукти, поверхнево-активні матеріали тощо), сонячного випромінювання, не t включають здатність проникати всередину з'єднання, якщо воно пошкоджене протягом 25 років використання. Конструкція передбачає поділ оптичних з'єднань на три категорії: прохідні, прямі та розгалужені. Крім того, габаритні розміри оптичних з'єднань відрізняються в залежності від місця їх застосування: в колодязях кабельної каналізації, колекторах або шахтах міських комунікацій, або в ґрунтових або спеціальних пластмасових колодязях для ділянок або магістральних ліній оптичного зв'язку, на опорах, що знаходяться над головою. або лінії електропередачі.

На сучасному ринку задіяні оптичні асоціації виробників: «Tusco Electronics Raychem NV» (США); «Reichle & De-Massari» (Швейцарія); "Ericsson" (Швеція) та ін.

Рисунок 1.9 ілюструє конструкцію оптичної муфти FOOSC 400, створеного компанією Tyco Electronics Raychem NV. Таке конструктивне рішення муфти стало поширеним, оскільки полегшує монтаж кабелів різних видів (багатомодульних, з центральною модульною ванною, з профільованою жилою та ін.). Загальна величина муфти є достатньою, щоб розмістити її у кабельних колодязях, підвішених на опорах або безпосередньо на землі тощо. Також дана муфта дозволяє використовувати різноманітні сценарії влаштування та монтажу.

Зовні муфта має порти, які можна використовувати для введення оптичного кабелю. За допомогою термоусаджувальних трубок та манжетів забезпечується герметизація цих портів.

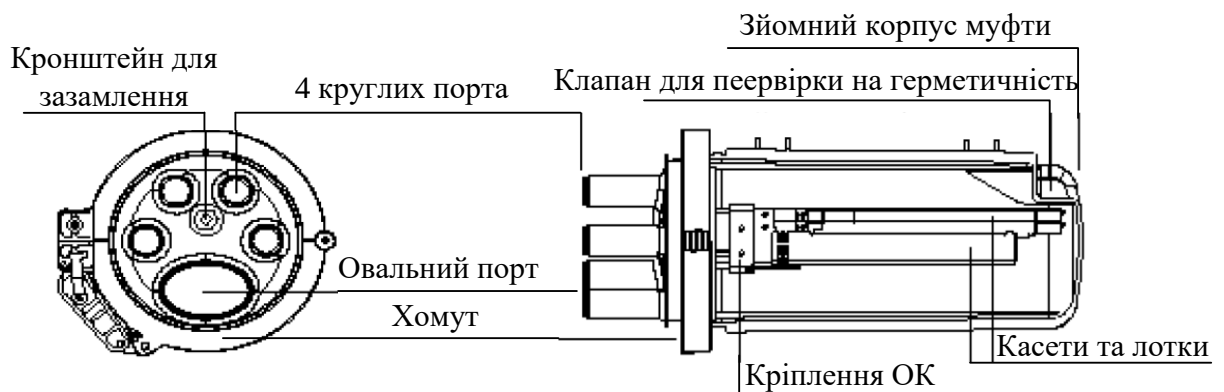


Рисунок 1.9 – Конструкція оптичної муфти

Оптичні кабелі вводяться у муфту як через круглі, так і через овальні порти. Порт овальної форми призначений для розміщення двох кабельних магістралей або організації проходження окремих кабелів через муфту. Інші кабелі, особливо ті, які призначені для розгалуження, зазвичай підключаються через круглі порти. Герметизація кабельних портів здійснюється за допомогою термоусаджувальних трубок, гільз і кліпс.

Кабель, який вставляється через зовнішній порт, з'єднується з корпусом кабелю спеціальними затискачами, центральний елемент кабелю затискається болтом. Оптичні волокна направляються по спеціальному каналу в касети або

лотки, де за допомогою зварювального апарату зварюються. Транзитні модулі з волокнами можна розмістити під касети. Залежно від об'єму оптичного кабелю можна об'єднати кілька касет або лотків одночасно. На одній касеті можна розмістити до 24 оптоволоконних з'єднань. Крім того, металеві компоненти кабелю включені в конструкцію, використовується спеціальний пакет для з'єднання гофрованого сталевого броньованого екрану з кінцем кабелю.

Важливо зазначити, що через ненадійне кріплення кабелю до корпусу муфти може статися його рокручування або обертання, що призведе до пошкодження модульних трубок і оптичних волокон.

Для оцінки ступеня герметичності використовується унікальний клапан, через який нагнітається повітря в закрите з'єднання. Крім того, силікогель розташований посередині муфти, є своєрідним індикатором наявності вологи в середині муфти.

Кронштейн для заземлення, використовується для з'єднання металевих елементів кабелю.

Прикладом найменування муфт є FOSC-400B4-S12-1-NNN-UA01. Оптичний з'єднувач FOSC-400 типу В з 4 круглими портами, S12 - касетами для 12 з'єднаних швів, 1 – одна касета для з'єднання. У конструкції муфти відсутні барокамера, блокування і кронштейн заземлення. UA01 – це номер, яким керує клієнт.

1.3 Особливості процесу зварювання оптичних волокон

Основним показником якості зварного з'єднання є пониження оптичної потужності в місці з'єднання оптичних волокон. Зокрема, ефект загасання в зварних з'єднаннях проявляється в оптичних мережах для магістралі, коли втрати в з'єднанні перевищують кілометрове загасання оптичних волокон. Враховуючи величезну пропускну здатність волокон в сучасних оптичних кабелях, кількість з'єднань, які зварюються на ділянці регенерації оптичної

лінії зв'язку, може обчислюватися сотнями і тисячами. Це, теоретично, обмежує максимальну швидкість і відстань між системами передачі. Як наслідок, до якості з'єднань оптичних волокон, особливо до магістральних, пред'являються високі вимоги.

Застосовуються спеціальні апарати, які автоматизують процес зварювання волокон і забезпечують належну якість зварних з'єднань. Вони використовують системи автоматичного регулювання (вирівнювання), які вирівнюють оптичні волокна перед зрощуванням, а також контролюють якість зварного з'єднання, що зазвичай забезпечує загасання не більше ніж на 0,02 дБ зварному з'єднанні.

Сьогодні виробниками сучасних зварювальних апаратів є японські компанії, такі як Fujikura, Furukava, Sumitomo тощо (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Апарати для зрощування оптичних волокон:

- а* – Fujikura FSM 80S;
- б* – Furukava Fitel S178A;
- в* – Sumitomo TYPE-71|

Розглянемо особливості процесу зварювання та фактори, що впливають на втрати у місці їх зрощування.

Процедура зварювання поділяється на декілька етапів [12]. На першому етапі знімається захисне покриття з торців оптичних волокон №1 і №2, їх

поверхні очищаються етиловим спиртом від залишків покриття, бруду та пилю, за допомогою механічних або електричних пристроїв, які знімають покриття. Далі кінці сколюються перпендикулярно до осі волокна. Після цього оптичних волокон поміщаються в спеціальні напрямні, які мають V-подібну форму і мають на кінцях електроди 1 і 2, ці напрямні розташовані перпендикулярно регульовальному пристрою, і якість стружки змінюється (рис. 1.11, а). Попереднє розплавлення торців оптичних волокон (вогнева очистка) проводиться з метою усунення дрібних однорідностей, які є на поверхні торця під час сколу оптичного волокна.

На етапі безпосереднього зварювання між електродами 1 і 2 утворюється електрична дуга певної тривалості і потужності. В електричному полі розряду торці волокон нагріваються до температури плавлення ($1600^{\circ}\text{C} - 2000^{\circ}\text{C}$), що призводить до їх деформації (рис. 1.11, б). Після цього оптичні волокна зближуються, в результаті чого відбувається їх сплавлення (рис. 1.1, в). Під впливом поверхневого натягу з'єднання волокна з поверхнею вирівнюється і набуває форми оптичного волокна (рис. 1.11, г).

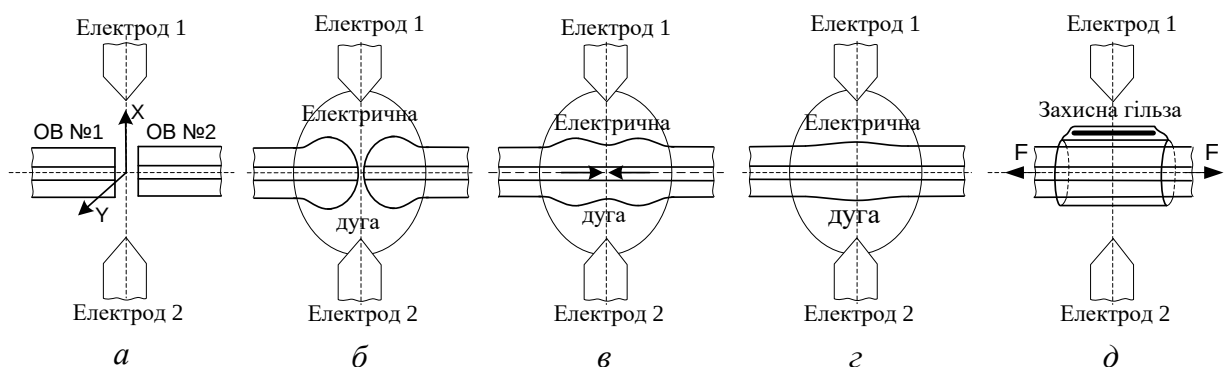


Рисунок 1.11 – Процес зварювання оптичних волокон:

- а* – вирівнювання оптичних волокон;
- б* – округлення розплавлених торців оптичних волокон;
- в* – зведення оптичних волокон;
- г* – з'єднання оптичних волокон;
- д* – перевірка на міцність та захист зварного з'єднання

В кінцевому підсумку оцінюється якість зварного з'єднання оптичних волокон. За результатами випробувань враховують оптико-геометричні властивості оптичних волокон на стику та оцінюють його розтяжність силою F (200..450 g). Якщо параметри зварного з'єднання типові для решти вилівка, то його захищають від зовнішніх пошкоджень герметиком (гільзою), який термоусаджується в спеціальній печі (рис. 1.11, е). Після цього гільза, що захищає технологічне завдання, і ODF розміщуються на спеціальній касеті в оптичному або фізичному кросі (OPC).

1.4 Аналіз втрат оптичної потужності у зварних з'єднаннях

Усі втрати, пов'язані з зварюванням оптичних волокон, повинні бути в межах допустимих норм, визначених проектно-правовими документами. Зокрема, втрати в місці з'єднання, що зварюється одномодових оптичних волокон магістральних ліній зв'язку повинні становити 0,1 дБ (70% від загальної кількості зрощувань) і 0,15 дБ (30% від загальної кількості зрощувань).

На оптичних лініях зв'язку місцевого значення допускається збільшення оптичних втрат у з'єднанні до 0,2 дБ. Для багатомодових оптичних волокон зниження затухання в точці зварного з'єднання повинно бути не більше 0,3 дБ (70% від загальної кількості приєднаних з'єднань). Допускається максимальне загасання в місці зварювання оптичних волокон - 0,5 дБ (30% загальної гучності).

На практиці загасання у зварному з'єднанні викликається:

- відхилення геометричних і оптичних властивостей оптичних волокон в процесі зварювання;
- порушення технології зварювання;
- некоректність оцінки якості та загасання зварного з'єднання та спосіб інтерпретації їх результатів.

Відхилення геометричних і оптичних властивостей оптичних волокон негативно впливають на процес з'єднання. Через різницю в сердечниках і оболонках з'єднувальних волокон сили поверхневого натягу в місці з'єднання є нерівномірними, що призводить до зміщення оптичних волокон і деформації з'єднання. Таким чином, сигнал у цьому з'єднанні матиме зменшення оптичної потужності.

Відхилення геометричних і оптичних властивостей волокон можливі як під час виробництва оптичних волокон, так і в результаті їх тривалої експлуатації. Під час виробничого процесу діаметр сердеччини волокна або оболонки волокна може збільшуватися або зменшуватися, ставати круглішим або еліптичним. Крім того, сердеччина може зміщуватися до центру осі обертання оболонки - ексцентриситету (рис. 26, а і рис. 26, б). Компанія-виробник оптичне волокно зазначає в документації, що деякі параметри можуть бути змінені більшою чи меншою мірою. Наприклад, згідно зі стандартами, очікується, що діаметр сердеччини становитиме від 2,3 до 4,5 мікрон, а оболонки – від 3,1 до 4,5 мікрон.



Рисунок 1.12 – Відхилення геометричних параметрів сердцевин оптичних волокон, що зрощуються:

a – ексцентриситет сердцевин;

б – еліптичність сердцевин

В результаті зварювання цих волокон частина оптичного випромінювання, що проходить через зварну ділянку, гасне (рис. 1.13). Крім зазначених вище, характеристики оптичних волокон можуть бути змінені (погіршені) зовнішніми силами, включаючи хімічні та механічні. Наприклад, надмірний натяг оптичних волокон, викликаний розтягуванням або вигином оптичного кабелю, призводить до появи мікротріщин і деформації структури волокна. Взаємодія оптичних волокон з вологою або іншою хімічною речовиною призводить до зміни оптичних параметрів, пов'язаних з полем моди і показником заломлення оптичних променів.

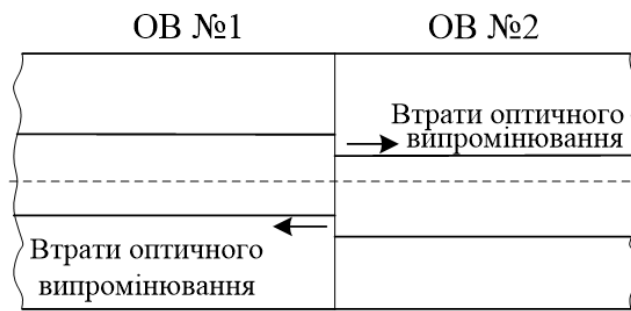


Рисунок 1.13 – Втрати оптичної потужності із-за геометричних відмінностей параметрів їх серцевин

Окремо важливо оговорити проблеми, пов'язані зі зрощуванням оптичних волокон, виготовлених на різних заводах виробників. При цьому різні виробники мають різні методи виготовлення оптичних волокон. Таким чином, матеріал, який використовується для оптичних волокон – кварцове скло – не є ідентичним у волокнах різних виробників, незважаючи на те, що параметри, пов'язані з виробничим процесом у специфікаціях установок, не відрізняються суттєво. Це можуть бути різні властивості теплового розширення, показника заломлення, консистенції та міцності. Ці параметри визначають оптичні втрати в з'єднаннях і повинні враховуватися під час процесу зварювання та при оцінці затухання.

При зварюванні оптичних волокон різної геометричної конфігурації процес налагодження неоднозначний. Розпізнається різниця між зміною між

оболонкою або серцевинам. Регулювання в задній частині оболонки є пасивним типом регулювання, цьому сприяють V-подібні напрямні, які мають з'єднані кінці. Як правило, цей тип регулювання використовується, коли вимоги до вхідних втрат є низькими, зокрема, при підключенні кількох режимів у місцевих лініях зв'язку. Для отримання якісних з'єднань, які автоматично вирівнюються за серцевиною, необхідно використовувати мікропроцесор, крокові двигуни та прецизійні компоненти (зазвичай на основі п'єзоефекту), які забезпечують розташування трьох осей: горизонтальну, вертикальну та осьову. Вирівнювання за серцевиною використовується для зниження втрат і використовується при зварюванні одномодових оптичних волокон як магістральних, так і до місцевих ліній зв'язку.

1.5 Висновки до розділу

Якщо вважати за основний критерій якості нероз'ємних з'єднань оптичних кабелів втрати оптичної потужності у місці зварювання одномодовних волокна, тоді окрім власних втрат на поглинання та розсіювання, у зварних з'єднаннях додаткові втрати можуть бути зумовлені :

- порушенням технології монтажу оптичних волокон, із-за не належної підготовки оптичних волокон до процесу зварювання;
- значною відмінністю геометричних та оптичних параметрів оптичних волокна, що ускладнює процес зварювання під час будівельно-монтажних робіт;
- погіршення характеристик (деградації) оптичних волокон протягом тривалої експлуатації оптичних кабелів, що призводить до труднощів зварювання під час аварійно-відновлювальних та планових робіт.

Таким чином, оцінювання якості стандартних одномодових волокон може бути виконано:

- на етапі підготовки оптичних волокон до зварювання з урахуванням інформації про геометричні та оптичні параметри волокон;
- безпосередньо під час зварювання електричною дугою з урахуванням характеру сплавлення оптичних волокон;
- після завершення монтажних робіт шляхом вимірювання загасання у зварному з'єднанні.

Для цього розглянемо існуючі методи та засоби оцінювання якості зварних з'єднань одномодових оптичних волокон.

2 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ ОДНОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

У попередньому розділі даної кваліфікаційної роботи встановлено, що окрім власних втрат на поглинання та розсіювання, у оптичних волокнах можуть виникати додаткові втрати у неякісно виконаних зварних з'єднаннях, що зумовлені відмінністю геометричних та оптичних параметрів оптичних волокон що зрощуються, недотримання вимог щодо основних технологічних етапів процесу зварювання, зрештою поступовим погіршенням характеристик оптичних волокон протягом експлуатації із-за механічної втоми та утворення мікротріщин. У даному розділі розглянемо методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних (зварних) з'єднань оптичних волокон, на основі яких розробимо методику поетапного дослідження втрат цих з'єднань

2.1 Методи оцінювання якості зварних з'єднань PAS та LID

Для оцінки якості з'єднань використовуються сучасні системи контролю і регулювання оптико-геометричних параметрів волокон, такі як Local Light Injection and Detection (LID) та Profile Alignment System (PAS).

Система LID, створена американською компанією Corning, заснована на даних максимальної інтенсивності оптичного сигналу, який проходить через ОВ точку. Для цього оптичне випромінювання вводиться в центр першого ОВ, після проходження волоконного з'єднання воно надходить з центру другого волокна (рис. 2.1).

Крім того, введенню і виведенню оптичного випромінювання сприяють відповідні діоди в місцях вигину оптичних волокон. Потрібна форма вигину досягається за допомогою спеціальних затискачів, які також ущільнюють волокна до випромінювача і приймача оптичного сигналу. Волокна зміщуються в площинах X і Y , щоб максимізувати кількість оптичного сигналу, що передається через точку з'єднання.

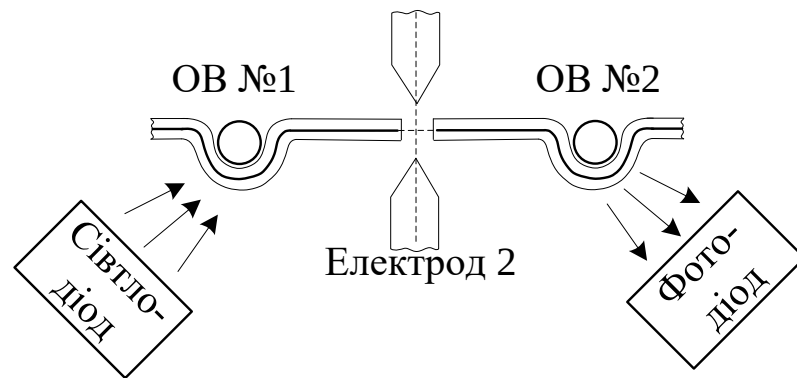


Рисунок 2.1 – Система Light Injection and Detection (LID)

В результаті система LID гарантує максимально точне вирівнювання серцевин оптичних волокон. Процес кріплення ОВ до шасі автоматизований (AFCTM). Система AFCTM визначає довжину електричної дуги, протягом якої оптична інтенсивність є максимальною. У процесі зварювання внаслідок впливу поверхневого натягу виникає ефект самоцентрації, який викликає зсув ОВЦ, деформацію та появу затухання в місці з'єднання. Вимірюючи максимальну амплітуду сигналу, система AFCTM зупиняє процес зварювання до того, як сили поверхневого натягу зможуть деформувати зварний шов. Основна перевага системи LID пов'язана з негайним вимірюванням втрат на інтерфейсі ОВ у реальному часі. До недоліків LID-систем можна віднести складність процесу введення та виведення оптичного сигналу в серцевину ОВ, зокрема щодо складного профілю показника заломлення. Система LID використовується в машинах, розроблених Siemens, Corning та іншими компаніями.

Найбільшої популярності набула система PAS (рис. 2.2), створена японською компанією Fujikura. Регулюється освітлення (для вирівнювання профілю оптичних волокон). Промені колімованого некогерентного світла потрапляють на об'єктив відеокамери, на задній стороні якого знаходиться детектор-матриця, яка створює зображення профілю оптичних волокон, що зварюються.

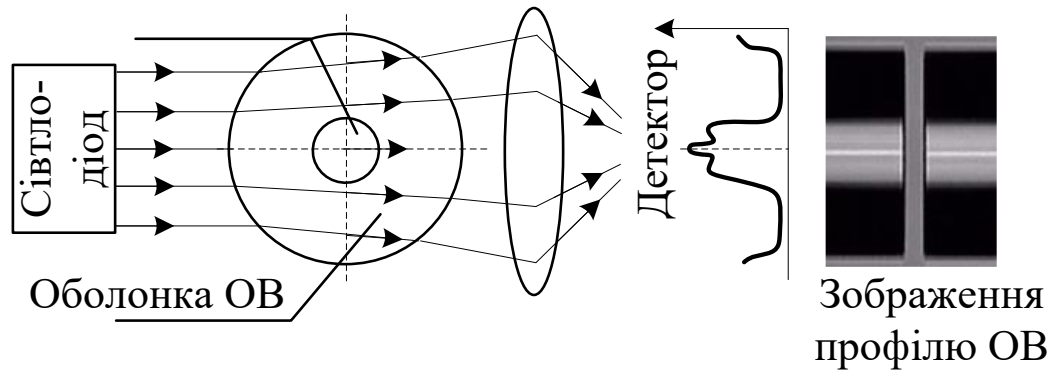


Рисунок 2.2 – Система Profile Alignment System (PAS)

На рисунку 2.2 лінза — це оптичний компонент, який фокусує збільшене зображення, це називається мікроскопом. Яскравість світла вимірюється детектором і змінюється в поперечному перерізі волокна, оскільки показники заломлення серцевини та оболонки різні. Деякі промені заломлюються на межі розділення серцевини та оболонки середовища, це через невелику область за серцевиною, яка має провал у розподілі енергії світла, який у площині зображення виглядає як темні лінії на світлі тло. Таким чином, створюються зображення, які ілюструють різницю між оболонками та серцевиною оптичних волокон. Вирівнювання оптичних волокон — це процес поєднання темних ліній, які представляють межі асоційованих ОВ. За допомогою дзеркал отримують візуальне зображення профілів волокна в двох перпендикулярних площинах, які взаємовиключають одна одну. Це полегшує асоціацію ОВ з площинами: X і Y. Візуальне зображення волокон передається з детектора на монітор, дозволяючи оператору спостерігати зображення. На основі отриманого зображення APDS (Automatic Profile Detection System) визначає тип оптичних волокон на основі його профілю яскравості та розраховує властивості процесу зварювання. Після виходу дуги відбувається точна оцінка якості місця зварного з'єднання за допомогою системи HDCM (High Definition Core Monitoring). У результаті в системі PAS коригування спочатку зініціюється оболонкою ОВ, а потім мерцевиною. До недоліків системи PAS

можна віднести опосередкованість методу визначення загасання в місці з'єднання, що зварюється.

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.

2.2 Вимірювання загасання методом зворотного розсіювання OTDR

Оптичний імпульсний рефлектометр (Optical Time Domain Reflectometer, OTDR) призначений для вимірювання методом зворотного розсіювання. За допомогою оптико-імпульсного рефлектометра (далі рефлектометр) визначають розподіл втрат оптичної потужності по оптоволокну, визначають місця пошкоджень і дефектів, оптичну довжину та відстань між неоднорідностями, втрата оптичної потужності в роз'ємних і нероз'ємних з'єднаннях [15].

Найвигіднішим аспектом рефлектометра є те, що він може диференціювати параметри волоконно-оптичної лінії зв'язку, маючи доступ лише до одного кінця лінії зв'язку. Це дозволяє використання рефлектометра для монтажу, експлуатації та будівництва оптоволоконного кабелю.

Всесвітньо відомі виробниками оптичних рефлектометрів є JDSU, Asterna, Agilent Technologies, EXFO, Wavetek та інші (рисуюнок 2.3).

Принцип роботи рефлектометра заснований на аналізі сигналів зворотного розсіювання та відбиття, які присутні в ОВ під час поширення сигналу від рефлектометра, який використовується для запуску зондуючого імпульсу. На основі інформації про час надходження та потужність зворотних сигналів створюється рефлектограма – графічне зображення розподілу втрат оптичної потужності в залежності від довжини оптичного волокна. За допомогою рефлектограм можна визначити основні характеристики ВОЛЗ [15].



Рисунок 2.3 – Оптичні рефлектометри:

a – OP-2-2(3); *б* – EXFO AXS-110; *в* – JDSU MTS 8000

Під час розповсюдження у оптичному волокні зонduючий сигнал поглинається та розсіюється мікронеоднорідностями та матеріалом волокна. Це призводить до різної оптичної щільності на межі між середовищами. Таким чином, формуються зворотні сигнали релеївського розсіювання та френелівського відбиття, останній з яких реєструється на початку волокна фотоприймачем, чутливим до цього явища. Сигнали зворотного Релеївського розсіяння містять інформацію про втрату (поглинання) оптичної потужності по всій довжині оптичних волокон а також у місцях їх зрощування. А сигнали Френелівського відбиття містять інформацію про роз'ємні з'єднань і кінці оптичних волоко.

Релеївське розсіювання — сукупне розсіювання оптичного сигналу в матеріалі серцевини оптичних волокон та/або на мікронеоднорідностях (релеївських центрах), розмір яких менший за довжину хвилі оптичного сигналу. Вони спричинені змінами показника заломлення через коливання щільності та складу серцевини, які відбуваються під час виробництва. Закон Релея є нижньою межею ослаблення оптичного випромінювання, він становить 2,5 дБ на довжині хвилі 820 нм, 0,24 дБ на довжині хвилі 1300 нм і 0,012 дБ на довжині хвилі 1550 нм.

Релеївське розсіювання в матеріалі та на мікроінформаціях у оптичному волокні відбувається в різних векторах. Одна частина сигналу, яка поширюється на межі серцевини і оболонки, менша за критичний кут, в результаті вона може пройти через оболонку і загасати у ній. Інший компонент сигналів поширюється вздовж волокна і виявляється фотодетектором (рис. 2.4).

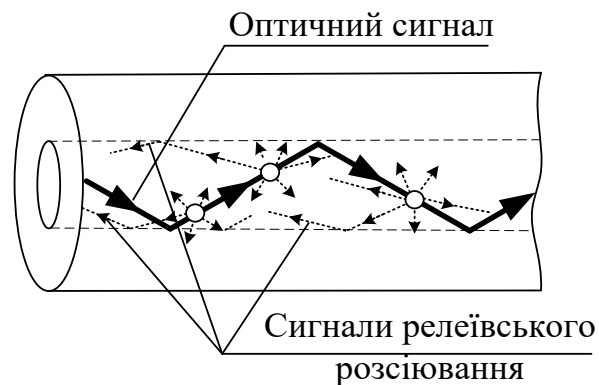


Рисунок 2.4 – Пояснення Релеївського розсіювання

Крім того, випромінюваний рефлектометром вимірювальний оптичний імпульс, який поширюється в оптичному волокні, зазнає як розсіювання, так і відбиття від межі між середовищами, які мають різні оптичні властивості або різні значення показників заломлення (рис. 2.5). Це відбувається, коли кут падіння оптичного сигналу на межі поділу середовищ з різними показниками заломлення менше критичного кута внутрішнього відбиття. Таким чином, частина потужності оптичного випромінювання відбивається назад у напрямку рефлектометра, решта потужності потім поширюється в цьому напрямку. Це явище відоме як відбиття Френеля, крім того, є втрата оптичної сили. За відображенням Френеля можна визначити розташування точок роз'ємних з'єднань оптичних ліній, а також точне місце обриву оптичних волокон або кінця лінії.

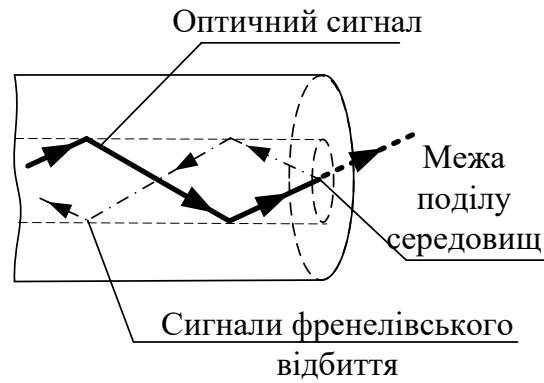


Рисунок 2.5 – Пояснення Френелівського відбиття

Після завершення процесу вимірювання формується рефлектограма, яка показує основні події та порушення в досліджуваній лінії зв'язку (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Рефлектограма із відповідним подіями і неоднорідностями

Початкова частина оптичної лінії на рефлектограмі нагадує піковий спалах, що називається мертвою зоною (рис. 2.6). Мертва зона рефлектограми

обумовлена перевантаженням фотодіода приймача рефлектометра внаслідок відбиття частини потужності вимірювального імпульсу від вхідного роз'єму. Відстань між мертвою зоною і поверхнею становить кілька десятків метрів. Для аналізу початку лінії використовується компенсатор мертвої зони - відрізок оптичного волокна довжиною приблизно 100 метрів з роз'ємними з'єднаннями на кінцях, намотаний в зручний для транспортування котушку. Цей компенсатор усуває мертву зону на початку лінії та дозволяє правильно аналізувати всю оптичну лінію від її початку до кінця.

Зварні з'єднання в оптичних з'єднаннях, дефекти та вигини оптичного волокна пов'язані з втратами на поглинання відображаються у вигляді сходинок на рефлектограмі (рис. 2.6). Біля кожної такої сходинки відображається значення втрат в децибелах і відстань до неї від початку лінії, ці значення автоматично розраховуються рефлектометром.

Відрізки рефлектограм, що знаходяться між неоднорідностями, дорівнюють довжині конструкції оптичного кабелю і мають від'ємний нахил. Нахил похилих ліній безпосередньо пов'язаний із кількістю втрат у волокні та характеризується відстанню, пройденою за одиницю часу, яка вимірюється в децибелах на кілометр.

2.3 Обробка результатів вимірювання (рефлектограм)

Для аналізу результатів вимірювань або рефлектограм використовується спеціалізоване програмне забезпечення. За допомогою цього програмного забезпечення можна більш ретельно аналізувати всі події, що мають місце бути на рефлексограмі в «ручному» режимі. Дуже зручно використовувати це програмне забезпечення безпосередньо на персональному комп'ютері.

Одним із прикладів такого типу програмного забезпечення є програмний пакет FiberTrace. На малюнку 2.7 показано основне вікно, яке має меню, панель кнопок, інформаційну панель і простір для роботи з ехограмами.

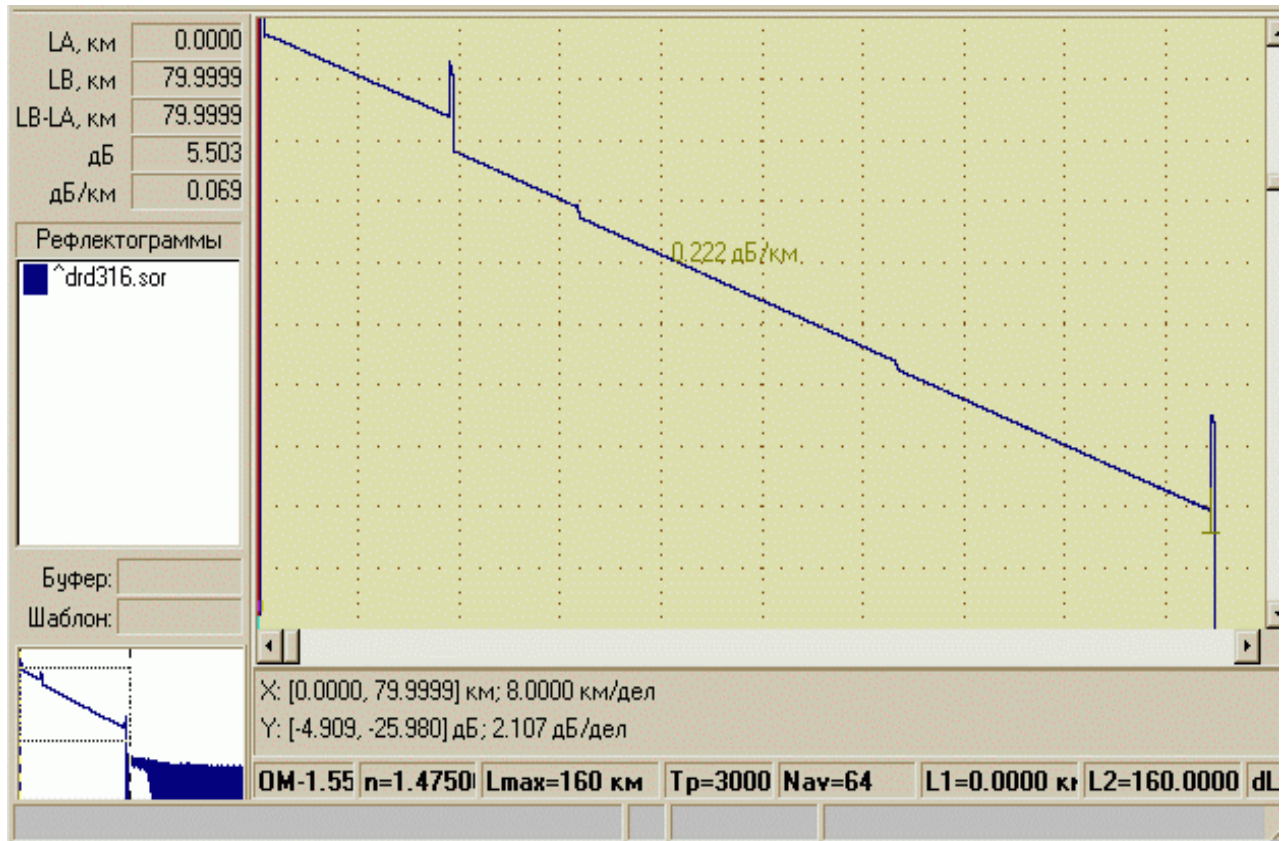


Рисунок 2.7 – Головний інтерфейс вікна
для роботи з рефлектограмами

Інформаційна панель містить наступну інформацію про результати вимірювань:

- положення правильного маркера (LB, кілометри);
- положення лівого маркера (LA, кілометри);
- загасання між маркерами зменшено (дБ);
- відстань між маркерами (LB-LA, кілометри);
- коефіцієнт затухання (дБ/км) або ORL використовується для опису частотної характеристики системи.

Додатково відображається назва поточного файлу, з якого зчитується рефлектограма, а також список файлів у буфері програмного забезпечення.

Важливим є те, що у випадку довгих оптичних волокон віддалені частини рефлектограми зазнають впливу шуму, тому рекомендується аналізувати ці ділянки "вручну".

Для цього використовуються такі методи:

- вимірювання загасання методом двох точок;
- вимірювання затухання за допомогою апроксимації.
- вимірювання загасання методом п'яти точок;
- вимірювання коефіцієнта відбиття.

Метод двох точок полягає у тому, що для аналізу подій на рефлектограмі використовуються дві вертикальні лінії: перша – праворуч, друга – ліворуч. Позиція їх відносно початку оптичного волокна відображається на інформаційній панелі. Для більш детального аналізу подій, що мають місце на вимірюваній лінії, рекомендується масштабувати їх у вертикальній і горизонтальній площині, а також провести аналіз вручну.

Метод п'яти точок використовується для розрахунку втрат на загасання у зварних з'єднаннях оптичних волокон, а також відстані до цієї точки від початку лінії. Щоб досягти цього, маркери розташовуються поблизу точки зустрічі посередині між маркерами (рис. 2.8). Після цього необхідно натиснути клавішу S. У цьому випадку сегменти певної довжини волокна ліворуч від лівого та правого маркерів вважаються прямими лініями. На рефлектограмі місця зрощування представлені маркером вертикального стовпчика, а області наближення представлені жирними лініями, вони повинні бути якомога довгими та однаковими за довжиною.

Результат вимірювання відображається в четвертій і п'ятій клітинках таблиці інформаційної панелі, Spl, дБ - Загасання з'єднання вимірюється в децибелах, Spl, км - Відстань від початкової точки волокна до точки з'єднання (до маркер центральної колонки).

Максимально допустима абсолютна похибка вимірювання затухання становить не більше $(0,05\alpha)$ дБ, де α – фактичне загасання, а дБ – максимально допустима відносна похибка.



Рисунок 2.8 – Вимірювання загасання у місці з'єднання ОВ та відстані до цього місця методом п'яти точок

Результати методу вимірювання представлені в таблиці інформаційної панелі в клітинках, які мають довжину LB-LA. кілометрів, відстань між точками перетину маркерів і рефлексограму та ступінь коефіцієнта ослаблення Децибели на кожен кілометр. Щоб визначити ступінь ослаблення всього спектру оптичного волокна. Лівий маркер повинен бути розташований за межами зони смерті.

Для кращої точності встановлення загасання, ділянка рефлектограми між маркерами може бути апроксимована прямою лінією. Для реалізації цього режиму необхідно вибрати кнопку  чи натиснути клавішу P на клавіатурі. При цьому апроксимуюча пряма з'явиться на екрані (рисунок 2.7), а відповідні результати вимірювання будуть заноситись у п'яту і четверту комірки таблиці інформаційної панелі. Вимірювання з допомогою апроксимації доцільно застосовувати при аналізі кілометричного загасання однорідних ділянок оптичних волокон.

2.5 Методика дослідження якості оптичних волокон

Для дослідження якості одномодових оптичних волокон можуть бути використані результати вимірювання (рефлектограми), отримані на різних етапах будівельно-монтажних робіт, а також результати вимірювання, отримані після виконання аварійно-відновлювальних та планових робіт під час експлуатації оптичної лінії.

Порівняння результатів цих вимірювань дають відповідь на питання як залежить якість зварних з'єднань стандартних одномодових волокон в залежності від умов будівництва та експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку.

У таблиці 2.1 наведені етапи оцінювання та вимірювання зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон.

Таблиця 2.1 Етапи оцінювання та вимірювань зварних з'єднань оптичних волокон

№	Назва етапу	Параметри, які аналізуються	Протоколи та паспорти	Вимірювальні прилади
1	Оцінювання якості зварних з'єднань	Геометричні та оптичні параметри волокон, що зварюються	Протоколу контролю зварних з'єднань	Зварювальний апарат з технологією PAS
2	Вимірювання втрат у зварних з'єднаннях	Значення загасання у зварному з'єднанні	Паспорт на змонтовану муфту	Оптичний імпульсний рефлектометр OTDR

Оптичні вимірювання та випробування будем проводити згідно з вимогами КНД 45-113-98, зокрема з допомогою методики виконання вимірювань загасання в одномодовій волоконно-оптичній елементарній кабельній секції.

2.4.1 Оцінювання якості зварних з'єднань

Оцінювання якості зварних з'єднань здійснюється зі урахування оптичних та геометричних параметрів оптичних волокон що зрощуються безпосередньо під час монтажу будівельних довжин оптичного кабелю.

Насамперед необхідно запустити процес самотестування зварювального апарату, для його адаптації до зовнішніх умов. За необхідності здійснюється калібрування моторів та дуги.

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

Після розміщення оптичних волокон у зварювальному апараті виконати юстування та вирівнювання волокон. При цьому зафіксувати стан підготовки торців та оптичних волокон перед зварюванням, а саме кут сколювання, відмінності геометричних розмірів оптичних волокон тощо (рис. 2.9 ,а).

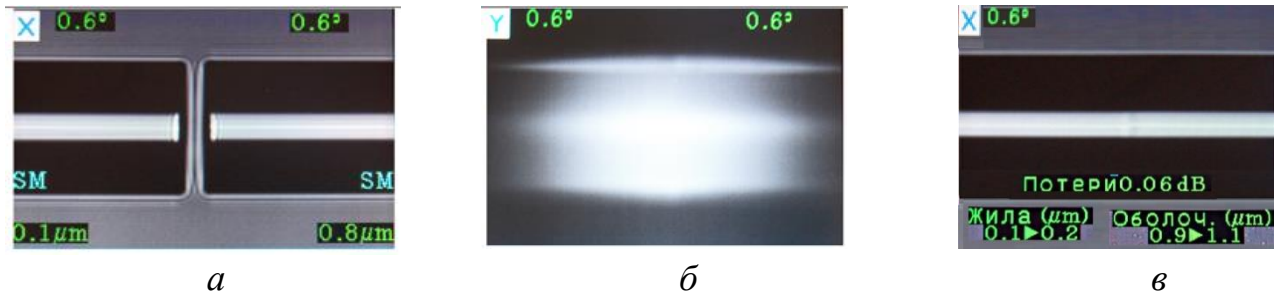


Рисунок 2.9 Оцінювання якості зварного з'єднання:

а – оцінювання геометричних параметрів оптичних волокон;

б - оцінювання характеру дуги;

в - оцінювання втрат

Під час безпосереднього зварювання дуже важливо візуально спостерігати за характером процесу сплавлення волокон і встановити, яким є характер процесу сплавлення оптичних волокон в полі розряду електричної дуги - однорідний чи не однорідний (рис. 2.9 ,б).

Після завершення зварювання оцінити візуально наявність швів та різного виду дефектів у місці зварювання у різних площинах, а також звернути увагу на оціночні значення загасання (рис. 2.9 ,в). Виконати перевірку зварного з'єднання на міцність.

По завершенню зрощування значення кутів сколювання, геометричних відхилень обох оптичних волокон, значення загасання у зварному з'єднанні та характер сплавлення заносяться до протоколу контролю зварних з'єднань, приклад якого наведений на рисунку 2.10.

№ ОВ	Тип ОВ	Кути сколу ОВ		Геометричні параметри до зварювання		Геометричні параметри після зварювання		Загас ання, дБ	Характер процесу сплавлення
		Ліве, град	Праве, град	Серцев ина, мкм	Оболон ка, мкм	Серцев ина, мкм	Оболон ка, мкм		

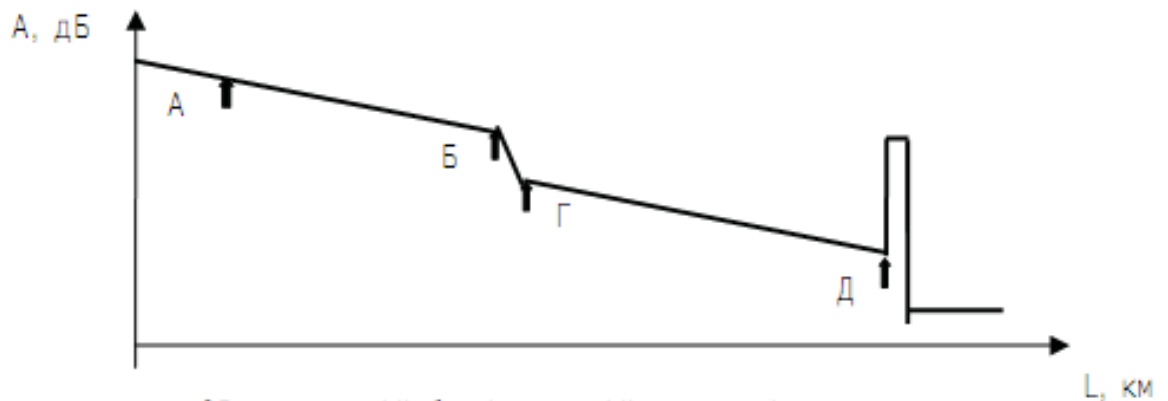
Рисунок 2.10 - Протоколу контролю зварних з'єднань

2.4.2 Вимірювання втрат у зварних з'єднаннях

Контрольні вимірювання оптичних втрат у місці з'єднання оптичних волокон під час монтажу муфт на оптичному кабелі виконуються рефлектометром з двох боків, і дійсне значення загасання в місці з'єднання оптичних волокон визначається як середньоарифметичне значень, здобутих з обох боків. 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.

Оптичні волокна під'єднуються до імпульсного рефлектометра за допомогою адаптера оптичних волокон або механічних з'єднувачів багаторазового використання з оптичним шнуром типу роз'єм «мишачий

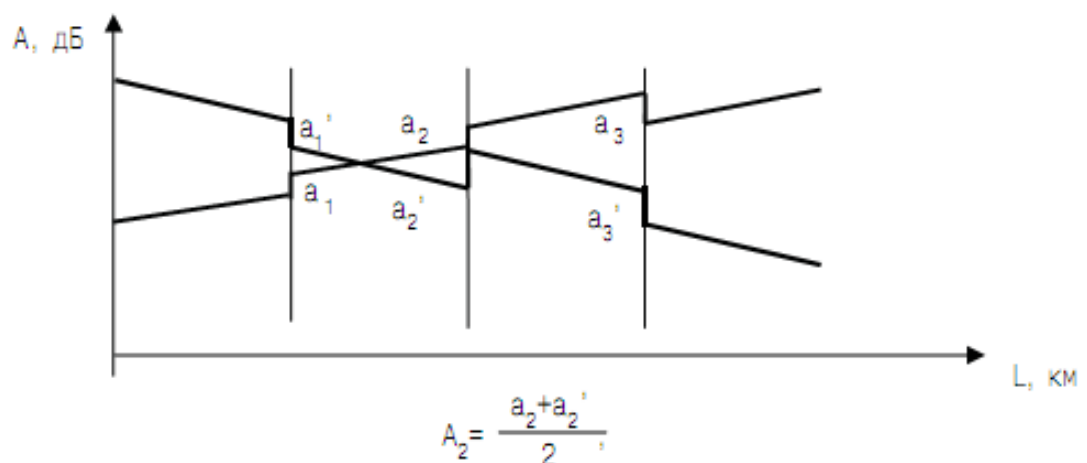
хвіст», при цьому бажано застосовувати компенсатора мертвої зони рефлектометра.



А - Б - за гасання в ОВ на першій будівельній довжин

Г - Д - загасання в ОВ на другій будівельній довжині

Б - Г - оптичні втрати в місці з'єднання ОВ



де a_1 , a_2 , a_3 - загасання в місці з'єднання ОВ ділянки ВОЛЗ, що досліджується;

a_1 , a_2 , a_3 - загасання в місці з'єднання ОВ при вимірюваннях з іншого боку ділянки ВОЛЗ, що досліджується;

A_2 - фактичне загасання в місці з'єднання ОВ

Рисунок 2.11 – Вимірювання втрат у зварному зєднанні рефлектограми

Результати вимірювань втрат у зварних Паспорт на змонтовану муфту, фрагмент якого наведений на рисунку 2.12

ПАСПОРТ
на змонтовану муфту № _____

Оптична лінія зв'язку _____
 Регенераційна ділянка _____
 Станція А: _____ Станція Б: _____
 Мірні позначки ОК на вводі в муфту:
 станція А _____ тульчин _____ станція Б: _____ варнярка _____
 Модель рефлектометра _____ серійний № _____
 Модель зварювального апарата _____ серійний № _____

Втрати на зрощуванні

Номер		Колір		$A_{зр. А-Б, дБ}$ 1=1310 нм	$A_{зр. Б-А, дБ}$ 1=1310 нм	$A_{зр. середн., дБ}$ 1=1310 нм	$A_{зр. А-Б, дБ}$ 1=1550 нм	$A_{зр. Б-А, дБ}$ 1=1550 нм	$A_{зр. середн., дБ}$ 1=1550 нм
ОМ	ОВ	ОМ	ОВ						
1	1						0,02		
	2						0,03		
	3								
	4								
2	5								
	6								
	7								
	8								
3	9								
	10								
	11								
	12								

Рисунок 2.11– Паспорт на змонтовану муфту

2.4 Висновок до розділу

Розглянуті методи та засоби оцінювання якості та втрат у зварних з'єднаннях одномодових оптичних волокон на етапах будівництва та експлуатації кабельних та інших ліній зв'язку.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ У ЗВАРНИХ З'ЄДНАННЯХ ОДНОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

У попередніх розділах даної кваліфікаційної роботи обґрунтовано, що якість нероз'ємних з'єднань пов'язана із втратами оптичної потужності, які виникають від неякісно виконаних зварювання оптичних волокон, що зумовлено відмінністю геометричних та оптичних параметрів оптичних кабелів що монтуються, недотримання вимог щодо основних технологічних етапів процесу зварювання, зрештою поступовим погіршенням характеристик оптичних волокон протягом експлуатації із-за механічної втоми та утворення мікротріщин.

Отже, виконаємо дослідження втрати оптичної потужності у нероз'ємних з'єднаннях оптичних кабелів за допомогою методики оцінювання якості зварювання оптичних волокон під час будівництва та експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку.

3.1 Дослідження якості зварних з'єднань

На початкових етапах зварювальника необхідно адаптувати до умов роботи. Вплив зовнішніх факторів, таких як низька температура, висока вологість, перепади атмосферного тиску та ін., викликає зміну параметрів дуги: потужності, тривалості та ін. Крім того, під час роботи зварювального апарату електроди будуть старіти, в результаті чого дуга буде зміщуватися відносно координат, проведених з торця ОВ перед зварюванням. Сучасні зварювальні апарати мають функцію Arctest, яка дозволяє автоматично або вручну коригувати дугу. Тому зварювальний апарат подає волокна в поле дугового розряду з оптимальною потужністю та тривалістю.

Окрім корекції дуги, сучасні зварювальні апарати також пропонують калібрування двигуна для високоточного налаштування ОВ, самотестування фокусу камери тощо. Також можливий автоматичний і/або ручний вибір того

чи іншого режиму зварювання з урахуванням типу і структури зварювальних волокон.

Оцінимо якість зварних з'єднань двох пар одномодових оптичних волокон №1 та №2.

На рисунку 3.2 наведено інформацію про кут сколювання волокон, геометричне відхилення та тип зварювального волокна. При цьому якість підготовки торця можна оцінити візуально. Зокрема, для волокна № 1 отримані мінімальні значення кута сколу і якісно обробленого торця (рис. 3.2, а). У випадку пари волокон №2 присутні забруднення і завищені значення кутів сколу (рис. 3.2, б)

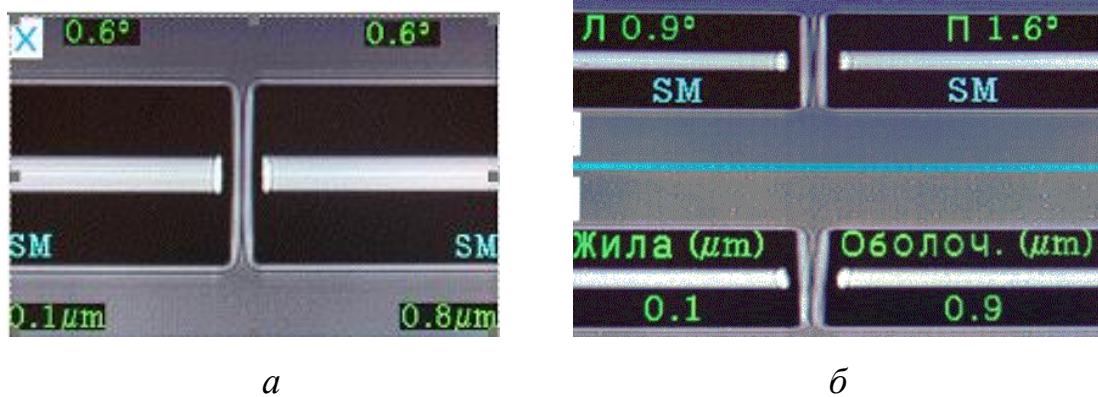


Рисунок 3.2 - Попередня геометрія оптичних волокон перед зварюванням:

а – висока якість; *б* - низька якість

3.4 показано процес плавлення ОВ під час розряду. Слід зазначити, що якість підготовки ОВ відповідає рівномірному характеру плавлення в полі дугового розряду. Наприклад, для ОВ № 2 торцева поверхня забруднена або неявно викришена. Під час зварювання спостерігаються візуальні дефекти, такі як шви, розриви або інші нерівності між волокнами, які можна розрізнити візуально світіння виникає на тлі однорідного поля дугового розряду, яке можна вважати неоднорідним (рис. 3.3, б). З іншого боку, для якісно виготовленого ОВ № 1 процес плавлення при дуговому розряді є рівномірним (рис. 3.3, а).

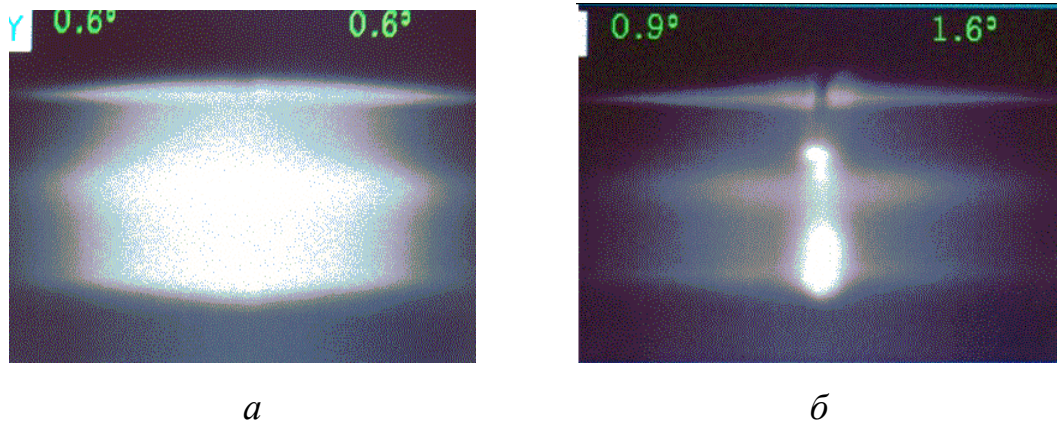


Рисунок 3.3 – Візуальна оцінка характеру процесу зплавлення під час дії дуги: *a* – однорідна, *б* – неоднорідна

Після закінчення дуги в площинах *X* і *Y* можна перевірити положення зварювального з'єднання, а також проаналізувати геометричні параметри розплавленого ОВ і значення загасання положення зварювального з'єднання. Оцінити опір механічному розтягу зварних з'єднань і загасання оптичних сигналів. При вирівнюванні волокон на основі зображень розподілу яскравості втрати на з'єднаннях волокон не вимірюються, але значення цих втрат оцінюються за допомогою системи PAS(HDCM).

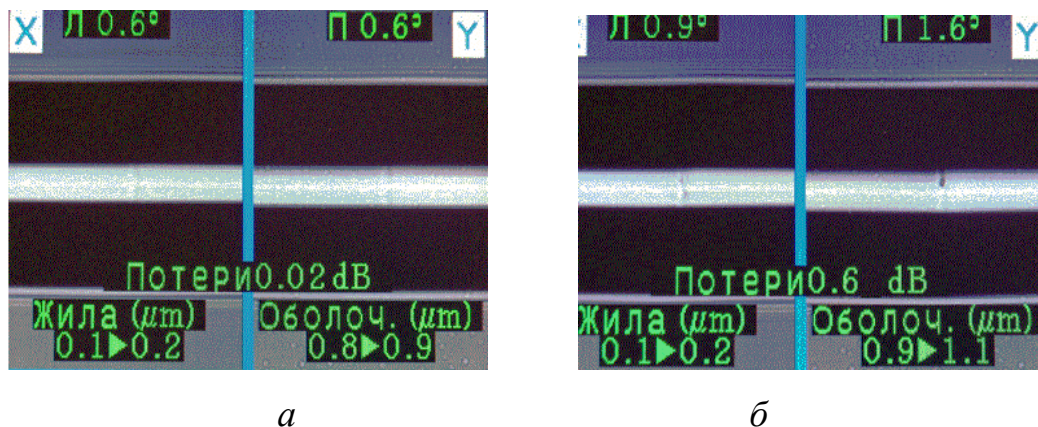


Рисунок 3.4 – Кількісна оцінка втрат системою PAS(HDCM) у зварних з'єднаннях:

a – з'єднання волокон №1 ; *б* – з'єднання волокон №2

Кількісні та якісні результати попередньої оцінки зварного з'єднання, особливо кількісна оцінка значень кута сколу, геометричних відхилень оптичних волокон, рівномірності або нерівномірності дуги, а також величини демпфування зварного з'єднання, підсумовані в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Результати оцінювання якості зварних з'єднань (PAS)

№ ЗЗ	Тип ОВ	Кути сколу ОВ		Геометричні параметри до зварювання		Геометричні параметри після зварювання		Загас ання, дБ	Характер процесу сплавлення
		Ліве, град	Праве, град	Серцев ина, мкм	Оболо нка, мкм	Серцев ина, мкм	Оболо нка, мкм		
1	SM	0,6	0,6	0,1	0,8	0,1>0,2	0,8>0,9	0,02	однорідна
2	SM	0,1	0,9	0,9	1,6	0,1>0,2	0,9>1,1	0,60	не однорідна

Наступний етап вимірювання втрат проведемо за допомогою оптичного рефлектометра або тестера [4].

3.3 Вимірювання втрат при зварюванні

Щоб виміряти втрати у зварних з'єднаннях будемо використовувати патч-корди для з'єднання рефлектометра з певною кількістю міжволоконних ліній зв'язку. Задамо основні параметри вимірювання рефлектометра:

- довжина хвилі вимірювання 1310 та 1550 нм;
- тривалість імпульсу вимірювання 20 нс;
- показника заломлення оптичного волокна 1,67;
- діапазон вимірювання довжини кабелю 20 км;
- час усереднення 30с;

Для отримання більш високої точності вимірювання значень загасання у зварному з'єднанні волокон виконаємо в обох напрямках і на двох довжинах хвилі 1550 нм і 1310 нм [5]. Отримані рефлектограми можна проаналізуємо за допомогою спеціального програмного забезпечення на персональному комп'ютері.

Для визначення втрат у зварних зварному з'єднанні використаємо метод п'яти точок [7]. Для цього розмістять маркери біля точок з'єднання так, щоб вони були посередині між маркерами (рис. 3.5).

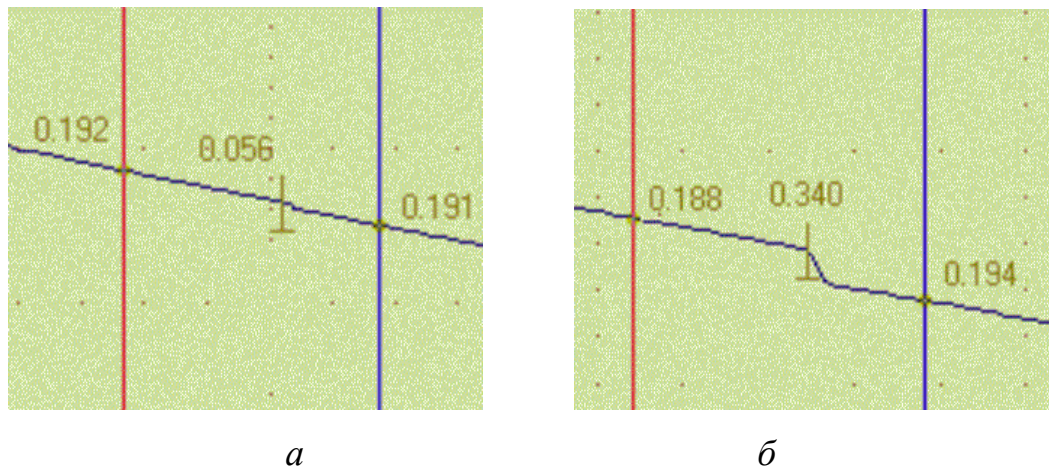


Рисунок 3.5 – Рефлектограми із значеннями згасання у місцях зварних з'єднань ОВ : *а* – в межах норми ; *б* – завищене

На рисунку 3.4 для зварного з'єднання першого оптичного волокна мінімальні втрати, виміряні рефлектометром, можуть досягати рівня 0,056 дБ, тоді як для з'єднання зіркою оптичних волокон №2 втрати перевищують норму і складають до 0,340 дБ (рис. 3.5, б). Результати вимірювань заносимо в таблицю 3.2 і порівнюємо їх з відповідними результатами в таблиці 3.1

Таблиця 3.2 Результати вимірювання втрат у зварювальних з'єднаннях другого ступеня (OTDR)

№ ОМ	№ ОВ	Колір ОВ	Азр А- Б,дБ	Азр Б- А,дБ	Азр серед,дБ	Азр А- Б,дБ	Азр Б- А,дБ	Азр серед,дБ
			$\lambda=1310\text{нм}$	$\lambda=1310\text{нм}$	$\lambda=1310\text{нм}$	$\lambda=1550\text{нм}$	$\lambda=1550\text{нм}$	$\lambda=1550\text{нм}$
1	1	червон	0,045	0,055	0,050	0,046	0,056	0,052
	2	зелений	0,330	0,350	0,340	0,320	0,340	0,320

Результати оцінки якості зварних з'єднань на попередньому та другому етапах порівнювали, контролюючи відповідність якісно підготовленого ОВ

№1 значенням загасання цих з'єднань, виміряним оптичним рефлектометром. Водночас у випадку ОВ № 2, коли дуга має неоднорідні характеристики, відповідне вимірне значення загасання перевищує нормативне [5].

3.3 Висновки цього розділу

Проведені дослідження показують, що якість зварних з'єднань погіршується через складність процесу прямого сплавлення, відхилень у геометрії волокна та/або оптичних параметрів, а також залежить від технічних невідповідностей. Варто також відзначити складність процесу зварювання волокон, що виготовляється різними виробниками. Подібні труднощі виникають при оптоволоконному зварюванні кабельних ліній при тривалій експлуатації. Такі зварні з'єднання мають окремі критерії демпфірування і потребують окремого аналізу.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

4.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи
виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	60	57	59
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	0	0

Продовження таблиці 4.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		58,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 4.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	65	70	68

Продовження таблиці 4.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	0	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	67,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [22]

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (4.1)$$

де $k_{\text{нов}}$, $k_{\text{теор}}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{\text{нов}} = 58,7$, $k_{\text{теор}} = 67,7$ балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 58,7 + 0,4 \cdot 67,67 = 62,27 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{\text{нау}}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз’ємних зварних з’єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв’язку», даний рівень становить 62,27 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов’язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз’ємних зварних з’єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв’язку», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками,

тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [22]

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, (грн.);

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=24$ дні.

$Z_o = 18500,00 \cdot 8 / 24 = 6181,84$ (грн.).

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, (грн.)	Оплата за робочий день, (грн.)	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, (грн.)
Керівник науково-дослідної роботи	18500,00	772,73	8	6181,84
Науковий співробітник	17700,00	750,00	12	9000,00
Інженер-дослідник волоконно-оптичних ліній зв'язку	17700,00	681,82	24	16363,68
Технік 1-ї категорії	8210,00	342,08	12	4105,00
Всього				35650,52

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон

під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку» розраховуємо за формулою

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, (грн.)/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=8000,00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду [22]

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 24$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,15 / (24 \cdot 8) = 52,71 \text{ (грн.)}.$$

$$Z_{p1} = 52,71 \cdot 5,50 = 289,90 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, (грн.)	Величина оплати на робітника (грн.)
Встановлення допоміжного обладнання	5,50	2	1,10	52,71	289,90
Інсталяція програмного забезпечення	4,00	3	1,35	64,69	258,75
Налагодження засобів системи оцінювання якості	6,90	5	1,70	81,46	562,06
Відлагодження інтерполяційних модулів	3,20	5	1,70	81,46	260,67
Формування цифрової експериментальної моделі оцінювання якості	5,50	4	1,50	71,88	395,31
Формування структурної схеми взаємозв'язків компонентів системи	5,80	5	1,70	81,46	472,46
Тренування системи	6,40	4	1,50	71,88	460,00
Підбір характеристик компонентів системи	2,50	3	1,35	64,69	161,72
Випробування системи	4,00	2	1,10	52,71	210,83
Всього					3071,70

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 12%.

$$Z_{\text{дод}} = (35650,52 + 3071,70) \cdot 12 / 100\% = 4646,67 \text{ (грн.)}.$$

4.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}}) \cdot \frac{H_n}{100\%} \quad (4.6)$$

де H_n – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (35650,52 + 3071,70 + 4646,67) \cdot 22 / 100\% = 9541,15 \text{ (грн.)}.$$

4.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Методи і засоби оцінювання якості нероз’ємних зварних з’єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв’язку».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов’язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп’ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення,

тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{vj}, \quad (4.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, (грн.)/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{vj} – вартість відходів j -го найменування, (грн.)/кг.

$$M_1 = 4,0 \cdot 192,00 \cdot 1,05 - 0 \cdot 0 = 806,40 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, (грн.)	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, (грн.)/кг	Вартість витраченого матеріалу, (грн.)
Папір Офісний А4 500	192,00	4,0	0	0	806,40
Папір для записів А4 250	110,00	4,0	0	0	462,00
Органайзер офісний	187,00	4,0	0	0	785,40
Канцелярське приладдя	169,00	4,0	0	0	709,80
Картридж для принтера	1264,00	4,0	0	0	5308,80
Диск оптичний CD-R	27,50	5,0	0	0	144,38

Flesh-пам'ять 128 GB	269,00	1,0	0	0	282,45
Стандартні одномодові оптичні волокна G652	42,00	1,0	0	0	44,10
Всього					8543,33

4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, (грн.);

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$K_6 = 4 \cdot 240,00 \cdot 1,05 = 1008,00$ (грн.).

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, (грн.)	Сума, (грн.)
Муфта оптична FOSC-400B4-S24-1-NNN-UA01	4	240,00	1008,00
Касета для викладання 24 оптичних волокон	1	200,00	210,00
Комплект для герметизації портів-вводів кабелю у муфту	1	56,00	58,80

Продовження таблиці 4.7 – Витрати на комплектуючі

Гільзи для захисту зварних з'єднань оптичних волокон	24	5,60	141,12
Всього			1417,92

4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, (грн.);

$C_{\text{пр.і}}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 680,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 748,00 \text{ (грн.)}.$$

Отримані результати зведемо до таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, (грн.)	Вартість, (грн.)
Апарат для зварювання оптичних волокон Fujikura 60S	1	680,00	748,00
Механічний сколювач оптичного волокна Fitel S323	1	480,00	528,00

Продовження таблиці 4.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Оптичний рефлектометр JDSU Acterna MTS-8000	1	6580,00	7238,00
Адаптер голого волокна Multitest BF FC UPC	1	550,00	605,00
Всього			9119,00

4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inpr} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де C_{inpr} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, (грн.);

$C_{npz.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$B_{npz} = 7620,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 8382,00$ (грн.).

Отримані результати зведемо до таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, (грн.)	Вартість, (грн.)
Програмне забезпечення для аналізу рефлектограм оптичних волокон на ПК	1	7620,00	8382,00
Математичне середовище розробки ANSYS	1	9680,00	10648,00
Всього			19030,00

4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{е}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де $Ц_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, (грн.);

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_{е}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (44299,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 1230,53 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, (грн.)	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, (грн.)
Комп'ютеризована система проектування	44299,00	3	1	1230,53
Робоче місце дослідника	8999,00	5	1	149,98
Комплект офісного програмного забезпечення (Microsoft Office 2019)	9640,00	3	1	267,78
Принтер EPSON STYLUS	8650,00	5	1	144,17
Приміщення дослідної лабораторії	500000,00	30	1	1388,89
Оргтехніка офісна	6520,00	5	1	108,67
Всього				3290,01

4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot \zeta_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (4.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, (грн.); (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 10,98$ (грн.);

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,45 \cdot 160,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 790,56 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, (грн.)
Комп'ютеризована система проектування	0,45	160,0	790,56
Робоче місце дослідника	0,12	160,0	210,82
Апарат для зварювання оптичних волокон Fujikura 60S	0,05	5,0	2,75
Оптичний рефлектометр JDSU Acterna MTS-8000	0,12	100,0	131,76
Принтер EPSON STYLUS	0,25	2,3	6,31
Оргтехніка офісна	0,45	1,2	5,93
Всього			1148,12

4.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» відсутні.

4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» відсутні.

4.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{iv}}{100\%}, \quad (4.13)$$

де H_{iv} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», приймемо $H_{iv} = 50\%$.

$$I_e = (35650,52 + 3071,70) \cdot 50 / 100\% = 19361,11 \text{ (грн.)}.$$

4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою

$$B_{нзв} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.14)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», приймемо $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (35650,52 + 3071,70) \cdot 100 / 100\% = 38722,22 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

$$B_{заг} = З_o + З_p + З_{доо} + З_n + M + K_{в} + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_{в} + B_{нзв}. \quad (4.15)$$

$$B_{заг} = 35650,52 + 3071,70 + 4646,67 + 9541,15 + 8543,33 + 1417,92 + 9119,00 + 19030,00 + 3290,01 + 1148,12 + 0,00 + 0,00 + 19361,11 + 38722,22 = 153541,75 \text{ (грн.)}.$$

Загальні витрати $ЗВ$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.16)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, приймемо $\eta = 0,95$.

$$ЗВ = 153541,75 / 0,95 = 161622,89 \text{ (грн.)}.$$

4.3 Оцінювання важливості та значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t}, \quad (4.17)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I = 3$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n = 3$;

T_C – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_C = 2$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Прийmemo $R = 4$;
 B – вартість науково-дослідної роботи, тис. (грн.). Прийmemo $B = 161622,89$ (грн.);

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t = 0,08$ років, (1 міс.).

Визначення показників I , n , T_C , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [22].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 3^3 \cdot 2 \cdot 4 / 161,6 \cdot 0,08 = 16,04.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

4.4 Висновок до розділу

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку» складають 161622,89 (грн.). Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі було розглянуто актуальні питання забезпечення якості нероз'ємних зварних з'єднань одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що удосконалено методику оцінювання якості зварних з'єднань оптичних волокон, що враховує характер сплавлення оптичних волокон у розряді електричної дуги, а також вимірювання втрат у нероз'ємних з'єднаннях оптичним рефлектометра у двох напрямках.

Сформульовано практичні рекомендації щодо забезпечення якісних зварних з'єднань стандартних одномодових волокон, які можуть використовуватись будівельно-монтажними організаціями та операторами зв'язку для підвищення надійності та зменшення втрат у кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку.

У розділі економічної частини проведено аналіз та виконано розрахунок наукового ефекту даної науково-дослідної роботи. Встановлено, що рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, це свідчить про потенційну ефективність роботи з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каток В.Б., Руденко І.Е., Однорог П.М. Волоконно-оптичні лінії зв'язку. Київ: 2016. 445 с
2. Онищук О.В. Аналіз загасання у волоконно-оптичній лінії зв'язку / О.В. Онищук, К.О. Коваль // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2014. - № 2. - С. 129-133.
3. 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.
4. Онищук О.В. Комп'ютерні мережі : навчальний посібник / О.С. Городецька, В.А. Гикавий, О.В.Онищук. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 128 с.
5. Онищук О.В. Методи і засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань волоконно-оптичних ліній зв'язку / О.В. Онищук., О.П. Червак // Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем: IX Міжнародна наук.-техн. конф., 15-17 листопада 2023 р. – Вінниця, 2023. – С. 62.
6. SPFIP400.9AN / User Manual FIP-400 Fiber inspection probe EXFO. – 2011. – 56 с.
7. 780000102/05 User Manual OTDR MTS 8000 Acterna. - 2005. - 118 с
8. Вакуленко О.В., Могилевич Д.І., Фомін М.М., Явіся В.С. Волоконно-оптичні лінії передачі. Київ : ВІТІ, 2017. 297 с.
9. Балашов В.О., Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Орешков В.І. Проектування та експлуатація сучасних мереж широкосмугового доступу: навч. посіб. для дипломного проектування та магістерських робіт. Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. 267 с.
- 10.Осадчук В.С., Осадчук О.В. Волоконно-оптичні системи передачі інформації. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 132с.
11. Осадчук В.С., Осадчук О В. Волоконно-оптичні системи передачі. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 225с.
12. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Напівпровідникові прилади з від'ємним

опором. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 162 с.

13. Осадчук О.В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від’ємним опором. –Вінниця: “Універсум-Вінниця”, 2000. – 303 с.

14. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Напівпровідникові діоди. –Вінниця: “Універсум-Вінниця”, 2002. – 162 с.

15. Корнійчук В.І., Мосорін П.Д. Волоконно-оптичні компоненти, системи передачі та мережі. – Одеса, “Друк”, 2001.

16. Дж. Гауэр. Оптические системы связи. –М.: Радио и связь, 1989. – 504 с. 8. Кофанов В.Л., Осадчук О.В., Гаврілов Д.В.. Лабораторний практикум з дослідження цифрових пристроїв на основі САПР MAX+PLUS II: Навч. посібник. –Вінниця: ВНТУ, 2008. – 200 с.

17. Кофанов В.Л., Осадчук О.В., Гаврілов Д.В.. Практикум з цифрових пристроїв на основі САПР Quartus II: Навч. посібник. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2009.

18. Каток В.Б., Руденко І.Е., Однорог П.М., Осадчук В.С., Осадчук О.В. Волоконно-оптичні лінії зв'язку. – Київ:, 2016. – 445 с.

19. Розорінов Г.М, Соловійов Д.О., Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку. - Київ:, 2012. – 344 с.

20. Мохунь І.І., Вікторівська Ю.Ю. «Елементи волоконно-оптичних систем передавання», Чернівці 2019, 138 с 4. Філінюк М.А. Основи негatronіки. Том. 2. Прикладні аспекти негatronіки. – Вінниця: УніверсумВінниця, 2006. – 306 с.

21. Андрушко Л.М., Вознесенский В.А., Каток В.Б. Справочник по волоконно-оптическим линиям связи. - Техніка, 1988. – 239

22. Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

23. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень [Текст] : практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа. – 81

Вінниця : ВНТУ, 2015. – 113 с.

24.Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень в машинобудуванні [Текст] : навчальний посібник / В. В. Кавецький, В. О. Козловський. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 100 с.

25.Інноваційний менеджмент [Текст] : навчальний посібник / [В. О. Козловський, А. О. Азарова, О. Й. Лесько, М. І. Небава]. - Вінниця : ВНТУ, 2012. - 130 с. - ISBN 978-966-641-488-8.

Додаток А

(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ НЕРОЗ'ЄМНИХ ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАНДАРТНИХ ОДНОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАБЕЛЬНИХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

Виконав: студент 2-го курсу групи РТ-23м
спеціальності 172 – Електронні комунікації та
радіотехніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Карпенко П.А

(прізвище та ініціали)

Керівник: : к.т.н., доц., доцент кафедри ІРТС

Онищук О.В.

(прізвище та ініціали)

«12» 12 2024 р.

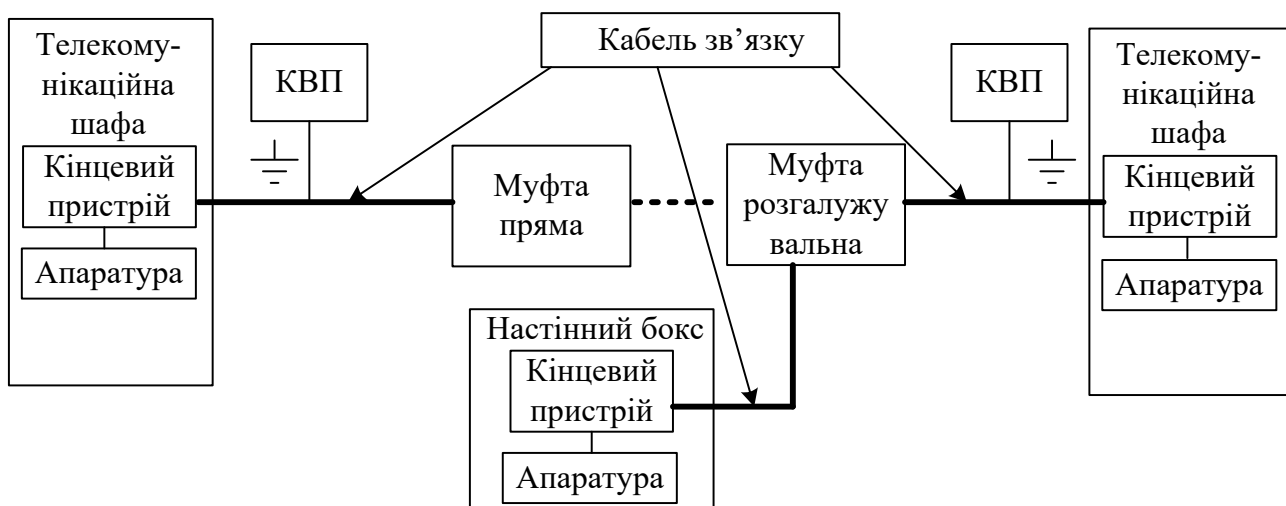


Рисунок – Структура кабельної лінії зв'язку

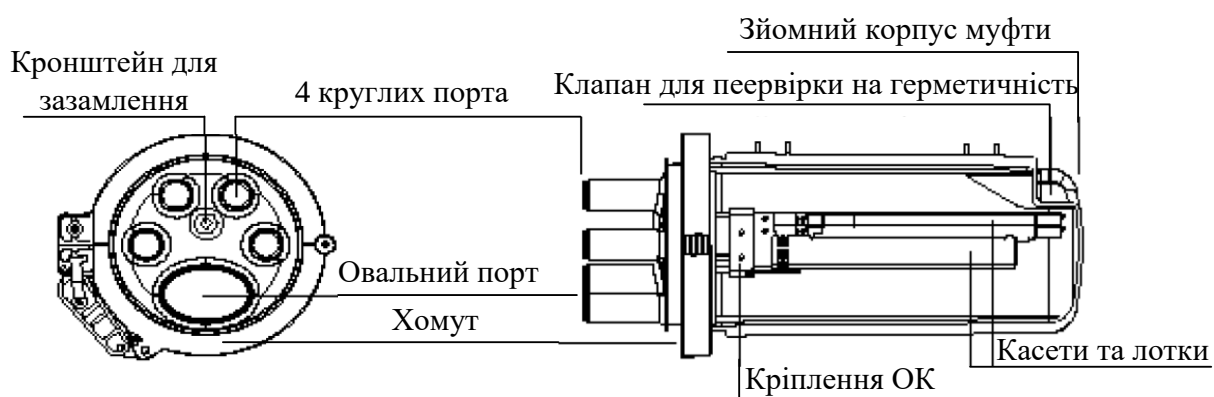


Рисунок – Конструкція оптичної муфти

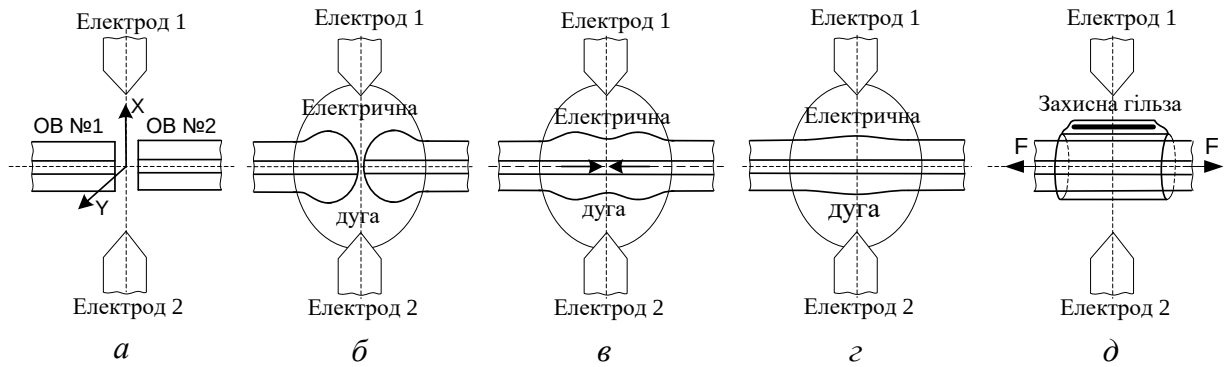


Рисунок – Етапи зварювання оптичних волокон:

- а* – вирівнювання оптичних волокон;
- б* – округлення розплавлених торців оптичних волокон;
- в* – зведення оптичних волокон;
- г* – з'єднання оптичних волокон;
- д* – перевірка на міцність та захист зварного з'єднання



Рисунок – Відхилення геометричних параметрів оптичних волокон, що зрощуються: *а* – ексцентриситет серцевин; *б* – еліптичність серцевин

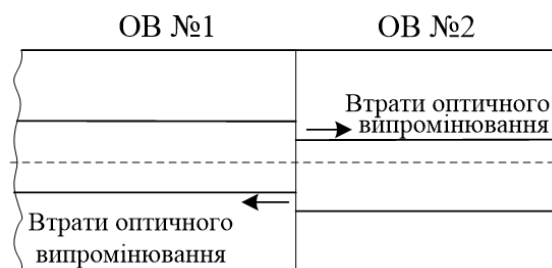


Рисунок – Втрати оптичної потужності із-за геометричних відмінностей параметрів серцевин оптичних волокон

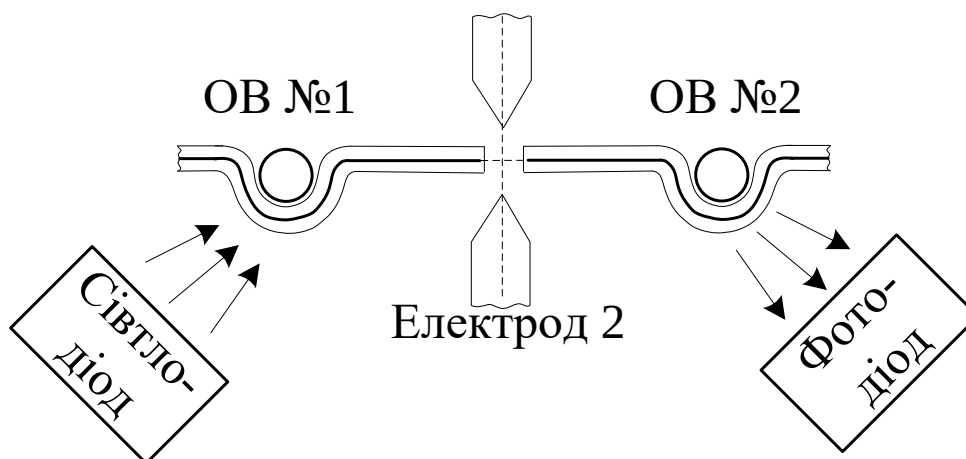


Рисунок – Система Light Injection and Detection (LID)

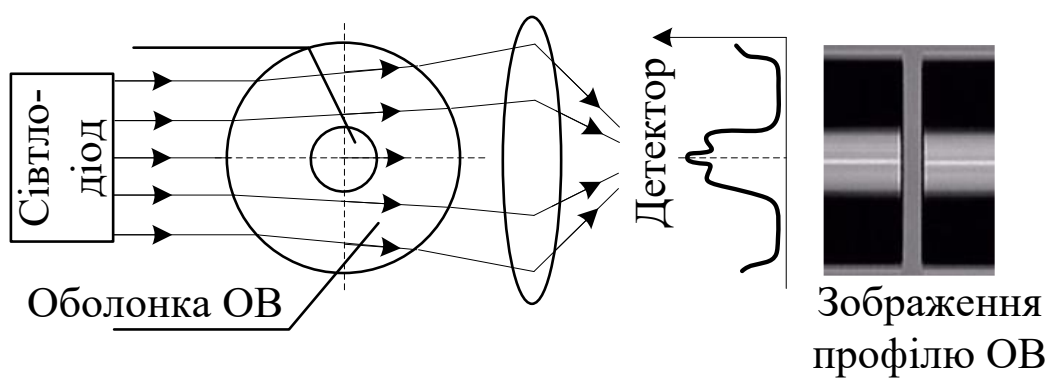
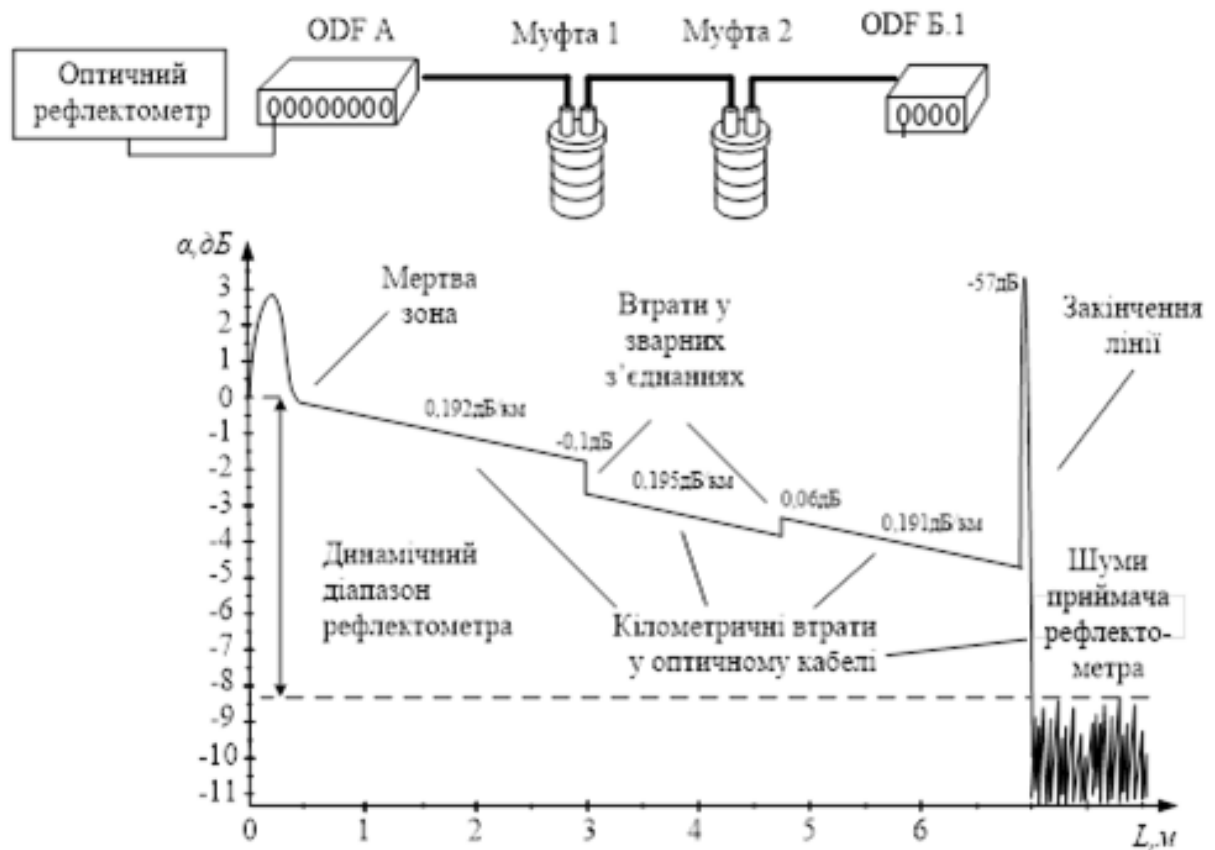


Рисунок – Система Profile Alignment System (PAS)

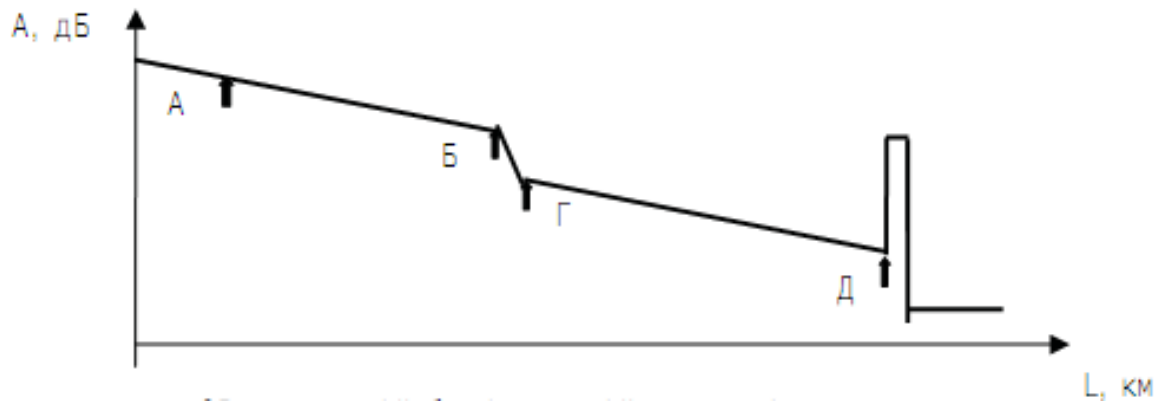


Рисунок – Оптичні рефлектометри:

a – OP-2-2(3); *б* – EXFO AXS-110; *в* – JDSU MTS 8000



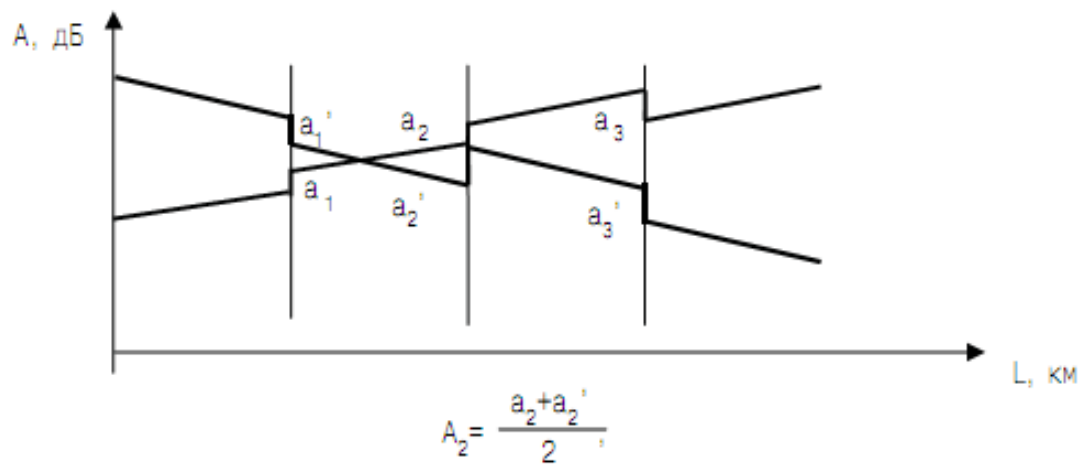
Рисунок— Рефлектограма із відповідним подіями і неоднорідностями



А - Б - загасання в ОВ на першій будівельній довжині

Г - Д - загасання в ОВ на другій будівельній довжині

Б - Г - оптичні втрати в місці з'єднання ОВ



де a_1, a_2, a_3 - загасання в місці з'єднання ОВ ділянки ВОЛЗ, що досліджується;

a_1, a_2, a_3 - загасання в місці з'єднання ОВ при вимірюваннях з іншого боку ділянки ВОЛЗ, що досліджується;

A_2 - фактичне загасання в місці з'єднання ОВ

Рисунок – Метод обробки результатів вимірювання

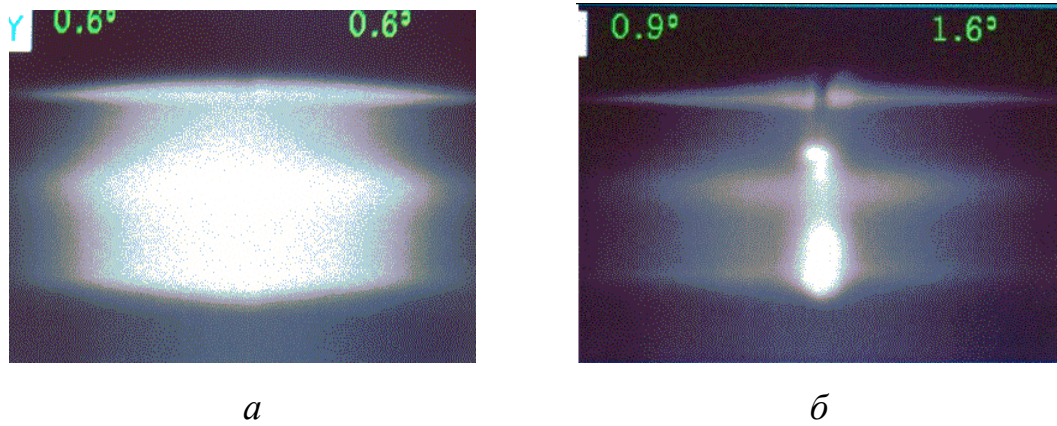


Рисунок – Візуальна оцінка характеру процесу сплавлення під час дії дуги:

a – однорідна, *б* – неоднорідна

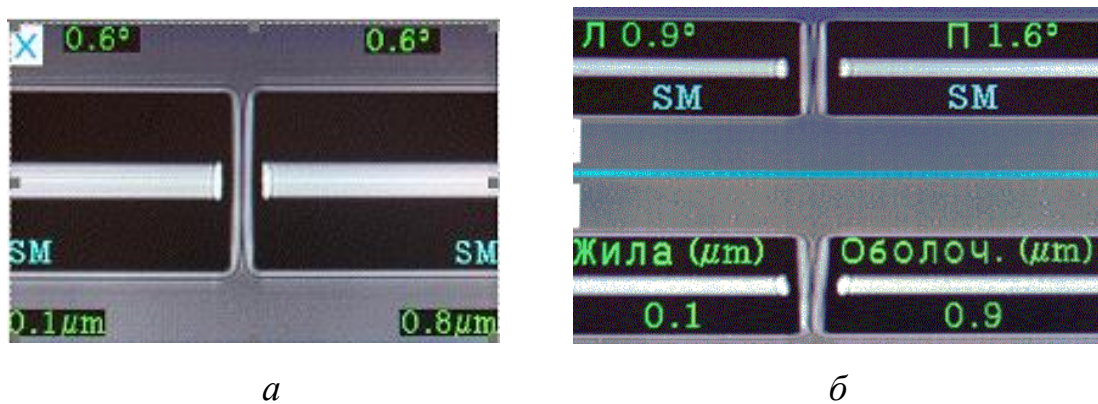


Рисунок - Попередня геометрії оптичних волокон перед зварюванням:

a – висока якість; *б* - низька якість

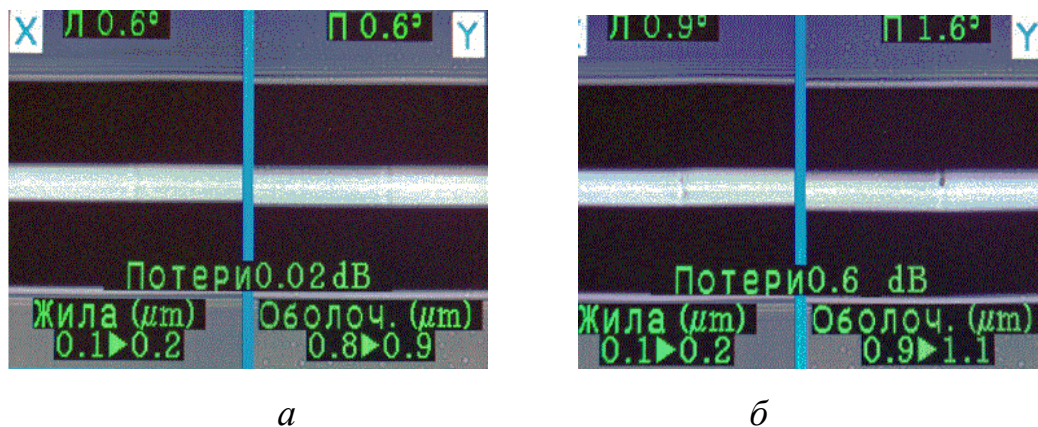


Рисунок – Кількісна оцінка втрат системою PAS(HDCM)

у зварних з'єднаннях:

a – з'єднання волокон №1 ; *б* – з'єднання волокон №2

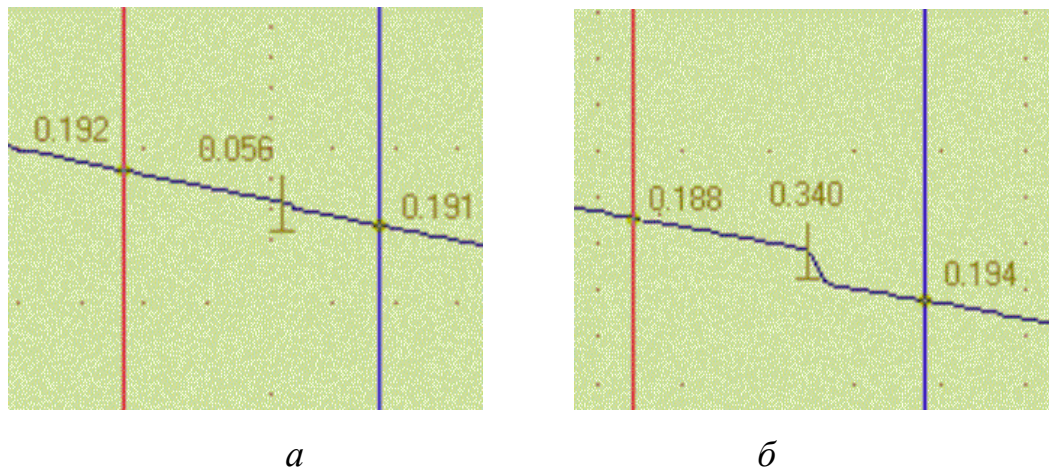


Рисунок – Рефлектограми із значеннями згасання у місцях зварних з'єднань

ОВ : *a* – в межах норми ; *б* – завищене

Таблиця 3.1 Результати оцінювання якості зварних з'єднань (PAS)

№ ЗЗ	Тип ОВ	Кути сколу ОВ		Геометричні параметри до зварювання		Геометричні параметри після зварювання		Загас ання, дБ	Характер процесу сплавлення
		Ліве, град	Праве, град	Серцев ина, мкм	Оболо нка, мкм	Серцев ина, мкм	Оболо нка, мкм		
1	SM	0,6	0,6	0,1	0,8	0,1>0,2	0,8>0,9	0,02	однорідна
2	SM	0,1	0,9	0,9	1,6	0,1>0,2	0,9>1,1	0,60	не однорідна

Таблиця 3.2 Результати вимірювання втрат у зварювальних з'єднаннях другого ступеня (OTDR)

№ ОМ	№ ОВ	Колір ОВ	Азр А- Б,дБ	Азр Б- А,дБ	Азр серед,дБ	Азр А- Б,дБ	Азр Б- А,дБ	Азр серед,дБ
			$\lambda=1310\text{нм}$	$\lambda=1310\text{нм}$	$\lambda=1310\text{нм}$	$\lambda=1550\text{нм}$	$\lambda=1550\text{нм}$	$\lambda=1550\text{нм}$
1	1	червон	0,045	0,055	0,050	0,046	0,056	0,052
	2	зелений	0,330	0,350	0,340	0,320	0,340	0,320

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ НЕРОЗ'ЄМНИХ
ЗВАРНИХ З'ЄДНАНЬ СТАНДАРТНИХ ОДНОМОДОВИХ
ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА ТА
ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАБЕЛЬНИХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ
ЗВ'ЯЗКУ**

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: «Методи і засоби оцінювання якості нероз'ємних зварних з'єднань стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 76,0% Схожість 24,0%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

✓ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.

2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. Роботу направити на розгляд експертної комісії кафедри.

3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Андрій СЕМЕНОВ
(прізвище, ініціали)

Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Павло КАРПЕНКО
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Олег ОНИЩУК
(прізвище, ініціали)