

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 РОЗ'ЄМНИХ
З'ЄДНАНЬ ПІД ЧАС 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)

Якименко О.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., доц., доцент каф. ІКСТ

Михалевський Д.В.
(прізвище та ініціали)

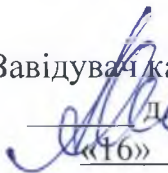
« 13 » 12 2024 р.

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

Якименку Олександрю Анатолійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Методи і засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань під час 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 найбільш поширені зразки роз'ємних з'єднань SC,FC, їх конструктивні особливості та оптичні характеристики, розглянути існуючі методи оцінювання втрат оптичної потужності у роз'ємних з'єднаннях, провести оцінку якості роз'ємних 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 оцінювання якості роз'ємних з'єднань кабельних волоконно-оптичних ліній. Огляд методів та засобів оцінювання якості оптичних конекторів та адаптерів. Розробка методики оцінювання втрат. Практичні дослідження. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): структурна схема кабельної оптичної лінії зв'язку; конструкція кінцевого пристрою (оптичної панелі), Конструкція роз'ємного з'єднання; втрати у роз'ємному з'єднанні із-за повздовжнього, поперечного та кутового зміщення; втрати у роз'ємному з'єднанні із-за кутовим зміщенням; роз'ємні з'єднання типу ST,SC,FC; характеристики оптичних роз'ємів FC,SC,ST; лабораторний стенд кабельної оптичної лінії зв'язку; методи та засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань; результати дослідження втрат у роз'ємних з'єднаннях.

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

Якименко О. А

Керівник роботи

Онищук О.В.


(підпис)

(підпис)

АНОТАЦІЯ

УДК 681.3:004.681

Якименко О. А. Методи і засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань під час експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 172 – Електронні комунікації та радіотехніка, освітня програма - радіотехніка. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 91 с. На українській мові. Бібліогр.: 25 назв; Табл. 18; Рис. 30 .

У магістерській кваліфікаційній роботі обґрунтовано методику оцінювання якості роз'ємних з'єднань оптичних волокон під час експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку. Досліджено основні аспекти, що призводять до появи втрат у неякісних конекторах, що зумовлені згасанням та відбиттям оптичної потужності

Представлено результати експериментальних досліджень втрат у роз'ємних з'єднаннях з допомогою сучасних засобів візуального та метрологічного контролю.

Сформульовано практичні рекомендації щодо покращення якості роз'ємних з'єднань оптичних волокон на всіх етапах експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини.

Ключові слова: оптичне волокно, роз'ємне з'єднання, конектори, втрати, загасання.

ABSTRACT

Yakymenko O. A Methods and means of assessing the quality of connector connections during the operation of cable fiber-optic communication lines. Master's thesis on specialty 172 - Electronic communications and radio engineering, educational program - radio engineering. – Vinnytsia: VNTU, 2024. – 91 p. In Ukrainian. Bibliography: 25 titles; Table 18; Rice. 30,

In the master's qualification work, the method of assessing the quality of optical fiber connectors during the operation of cable fiber optic communication lines is substantiated. The main aspects that lead to the appearance of losses in low-quality connectors, which are caused by attenuation and reflection of optical power, have been studied

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

Practical recommendations for improving the quality of optical fiber connectors at all stages of operation of fiber-optic communication lines have been formulated.

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

Key words: optical fiber, connector, connectors, losses, attenuation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ У СУЧАСНИХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ	11
1.1 Фізичні основи волоконної оптики	11
1.2 Волоконно-оптична лінія зв'язку	24
1.3 Аналіз втрат у роз'ємних з'єднаннях	28
1.4 Характеристики сучасних зразків роз'ємних з'єднань	35
1.5 Висновки до розділу	38
2 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ У РОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАННЯХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ	40
2.1 Тестування з допомогою оптичних мікроскопів	40
2.2 Оцінювання втрат методом зворотного розсіювання	43
2.3 Огляд сучасних оптичних імпульсних рефлектометрів OTDR.....	46
2.4 Висновки до розділу	51
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ У РОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАННЯХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ	52
3.1 Етапи експериментальних досліджень	52
3.2 Попереднє оцінювання роз'ємних з'єднань	53
3.3 Вимірювання втрат у роз'ємних з'єднаннях	55
3.4 Висновки до розділу	57
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	58
4.1 Оцінювання наукового ефекту	58
4.2 Розрахунки витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	62
4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи.....	75
4.4 Висновок до розділу	76

ВИСНОВКИ	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	79
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина	82
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки роботи	90

ВСТУП

Актуальність теми.

Роз'ємні з'єднання (оптичні конектори) є невід'ємною складовою сучасних кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку, з допомогою яких виконується комутаційно-кросові перемикання та конфігурація оптичних мереж, підімкнення та переключення приймально-передавальної апаратури та обладнання тощо. Велика кількість роз'ємних з'єднань застосовуються у мережах доступу та «останньої мілі», що забезпечує високу “гнучкості” мережі, швидкий пошук та усунення пошкоджень, зручність тестування та т. ін. Зрештою надійність роботи сучасних високошвидкісних транспортних мереж також пов'язана із якістю роз'ємних з'єднань.

Одним із головним критерієм якості сучасних волоконо-оптичних ліній зв'язку вважається втрати потужності або загасання оптичного сигналу у таких її конструктивних елементах як оптичні конектори та адаптерах роз'ємних з'єднань [1]. При цьому втрати у цих з'єднаннях мають відповідати допустимі норми, обумовлені проектом та/або нормативними документами. Відповідно до вимог КНД-45-141-99 [3], втрати у роз'ємних з'єднаннях оптичних ліній зв'язку повинні не перевищувати 0,4 дБ для довжин хвилі 1550нм і 1,31 мкм.

Отже, багаторазове перевикористання роз'ємних з'єднань, а також тривалі терміни експлуатації призводять до механічних та/або оптичних змін у конструкції роз'ємних з'єднань, що, у свою чергу, зумовлює значні втрати оптичного сигналу. Тож питанню оцінювання якості роз'ємних з'єднань повинно бути приділено особливу увагу особливо під час експлуатації волоконно-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 роз'ємних з'єднаннях з допомогою доступних методів та засобів оцінювання якості оптичних конекторів під час експлуатації кабельних оптичних ліній зв'язку.

Об'єкт дослідження – методи і засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань (оптичних конекторів) волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Предмет дослідження – є втрати у оптичних конекторах кінцевих пристроїв (оптичних панелей) кабельних волоконно-оптичних лініях зв'язку, зумовлених загасанням та відбиттям оптичної потужності.

Задачі дослідження

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі задачі:

1. Вибір наукового напрямку та методів дослідження, сформулювати постановку завдання на основі існуючих теоретичних і експериментальних підходів дослідження витрат та відбиття у роз'ємних з'єднаннях оптичних конекторів.

2. Аналіз оптичних та геометричних параметрів оптичних конекторів та виявити причини появи у місцях їх з'єднання втрат оптичної потужності зумовленої загасанням та відбиттям оптичного сигналу.

3. Дослідження втрат у роз'ємних з'єднаннях волоконно-оптичних ліній зв'язку, отриманих в результаті вимірювання загасання оптичної потужності у конекторах з допомогою оптичних тестерів.

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 у вдосконаленні методики оцінювання якості роз'ємних з'єднань кінцевих пристроїв кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку, що враховує вплив особливостей експлуатації на механічні та оптичні зміни у оптичних конекторах, і дає можливість зменшити втрат оптичної потужності у роз'ємних з'єднань.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що під час експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку можуть бути забезпечені мінімальні втрати у оптичних конекторах кінцевих пристроїв кабельних ліній зв'язку з допомогою запропонованої методики оцінювання якості роз'ємних з'єднань.

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 18 таблиць, 30 рисунка та 25 літературних джерел.

1 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ У СУЧАСНИХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЯХ ЗВ'ЯЗКУ

1.1 Фізичні основи волоконної оптики

Оптичне волокно - це напрямна ситема, що складається з циліндричної серцевини, у якій поширюється оптичний сигнал, і зовнішньої оболонки, що утримує і віддзеркалює сигнал в межах серцевини по всій довжині оптичного волокна (рисунок 1.1) [3].

Поширюючись у серцевині оптичного волокна, оптичний сигнал зазнає ефекту повного внутрішнього відбиття від межі поділу середовищ серцевина/оболонка, які характеризуються відмінними показниками заломлення [2].

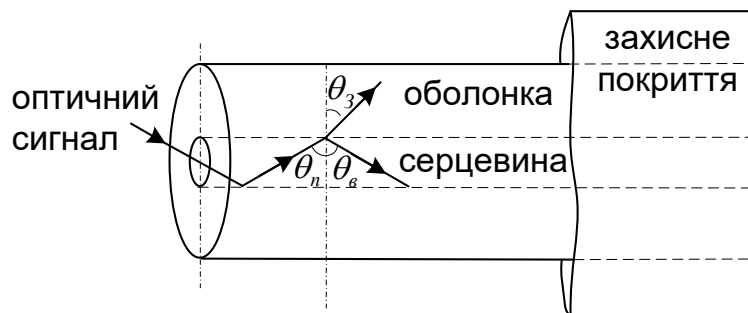


Рисунок 1.1 – Поширення оптичного випромінювання у оптичному волокні

У оптичного волокна показник заломлення оболонки n_2 менший від показника заломлення серцевини n_1 . Залежно від кута падіння θ_n оптичного променя на границю розділу середовищ оболонка/серцевина частина оптичного віддзеркалюється під кутом відбиття θ_v та продовжує поширюватись в межах серцевини, інша ж частина - заломлюється під кутом θ_z на границі розділу та розсіюється у оболонці (рисунок 1.1). При цьому експоненційно згасає та частина оптичного сигналу, що потрапила в оболонку ОВ. Між ку-

том падіння і кутом відбиття існує пропорційна залежність (закон Снеліуса) [3]:

$$n_1 \sin(\theta_{\Pi}) = n_2 \sin(\theta_{\text{В}}), \quad (1.1)$$

де n_2, n_1 – відповідно показники заломлення оболонки і серцевини; $\theta_{\text{В}}, \theta_{\Pi}$ – відповідно кути відбиття і падіння.

Якщо оптичний сигнал спрямований на кінець волокна, промені оптичного випромінювання будуть входити в волокно під різними кутами. відносно оптичної осі. Частина цих променів, що надходять під великим кутом, негайно потрапляє в оболонку і експоненціально загасає. інші Світлові промені, вражені під меншими кутами, будуть проходити по всій довжині волокна завдяки ефектам повного внутрішнього відбиття. Отже, є деякі кути тіла $\theta_{\text{мах}}$, у межах якого будуть поширюватись оптичні промені по всій довжині ОВ.

Номінальна або ефективна числова апертурою визначається виразом, до складу якого входить значення цього кута [1, 2]:

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

де n_0 – показник заломлення зовнішнього середовища.

Розрахункова числова апертура - це безрозмірна величина, що визначається виразом: $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$. Менша величина числової апертури відповідає меншому діаметру волокна. В залежності від діаметра оптичного волокна, числова апертура змінюється в діапазоні 0,1 .. 0,5.

Розглянутий вище прикладі характерний для волокон зі ступінчастим профілем показника заломлення [1,4]. При цьому поширення оптичного сигналу у серцевині відбувається прямолінійно, а на межі розділу середовищ серцевина-оболонка, змінивши свій напрямок, також поширюється прямолінійно.

но. Це пов'язано з тим, що розподіл значень показника заломлення серцевини n_1 залишається незмінним, а на межі розділу середовища оболонка-ядро показник заломлення різко змінюється у вигляді одноступінчастої (рисунок 1.2).

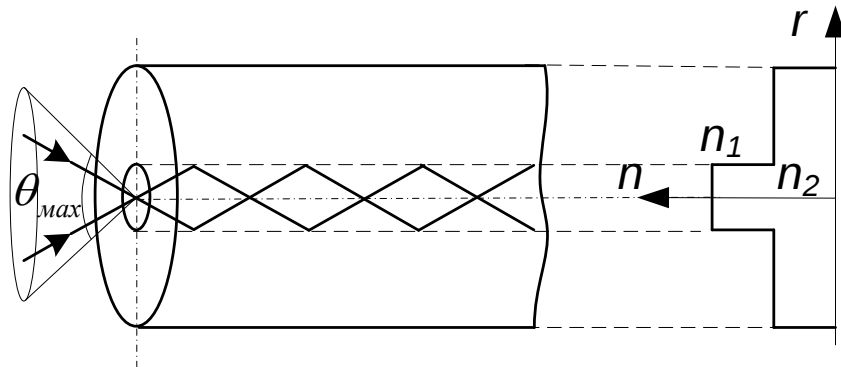


Рисунок 1.2 – Ступінчастий профіль показника заломлення
ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА

Якщо значення показника заломлення серцевини n_1 поступово зменшується від центра серцевини до її периферії, то оптичний сигнал поширюватиметься криволінійна, як по дузі (рисунок 1.3). Це оптичні волокна із градієнтним профілем показника заломлення [1,4]. Характеристика розподілу їх показників заломлення має вигляд параболи, а на границі розділу середовищ серцевина-оболонка відсутня різка зміна показників заломлення, як у ступінчастих.

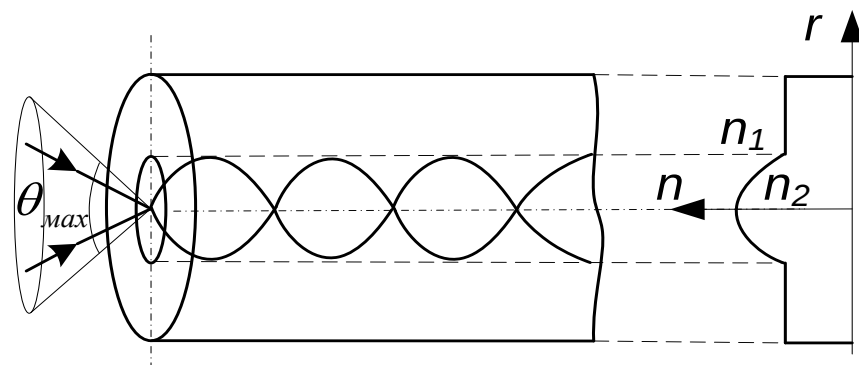


Рисунок 1.3 – Градієнтний профіль показника заломлення
ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА

Хвильовий параметр V або частотою відсічки враховує значення показника заломлення оболонки n_2 і серцевини n_1 , довжина хвилі оптичного випромінювання λ , та геометричні розміри ОВ. Розраховується за формулою [1,2]:

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

де d – діаметр серцевини волокна.

Із теорії електродинаміки відомо, що оптичне випромінювання або оптичний сигнал представляє собою хвилю електромагнітного коливання, яка є сумою магнітної складової (вектор напруженості магнітного поля H) і електричної (вектор напруженості електричного поля E). Моді – це типи хвиль, які представляють різні комбінації цих векторів.

Режим роботи оптичного волокна - це кількість груп мод, які можуть поширюватись у ньому. У режиму, що відповідає умові $V < 2,4048$, при цьому у оптичного волокна поширюватиметься тільки одна мода HE_{11} . Із збільшенням V , у оптичному волокні поширюватимуться моди вищого порядку,

Довжиною хвилі відсічки λ_{CF} - це мінімальна довжина хвилі, на якій волокно підтримує лише одну моду, визначається за такою формулою [4]:

$$\lambda_{CF} = 2\pi a \frac{NA}{2,405}. \quad (1.4)$$

Розрізняють кабельну λ_{CCF} і волоконну λ_{CF} довжину хвилі відсічки. Кабельна довжина хвилі зрізу спричинена розміщенням волокна в кабелях, які неодноразово згинаються та розтягуються під час встановлення. В результаті пригнічуються побічні моди і довжина кабелю зрізу зсувається в бік короткохвильового діапазону. Кабельна довжина хвилі відсічки визначається екс-

периментальним шляхом. У паспортній документації на кабельну продукцію обов'язково вказується значення кабельної довжини хвилі відсічки.

Таким чином, у оптичному волокні можуть поширюватись моди. Це залежить від діаметра сердечника d і довжини хвилі оптичного випромінювання λ . Кількість мод збільшується при збільшенні діаметра та зменшенні довжини хвилі.

Залежно від кількості мод, розрізняють одномодові і багатомодові оптичного волокна [3].

В одномодових оптичних волокнах діаметр сердечника і довжина хвилі сумірні ($d \approx \lambda$), тому в них поширюється тільки мода типу HE₁₁. Це фундаментальна мода найнижчого порядку, що існує всіх оптичних волокнах і переносить основну частину енергії оптичного сигналу. Оболонка одномодових волокон складає 125 мкм, а сердечина – 6..8 мкм. Оптичні параметри одномодового оптичного волокна оптимізовані під довжини хвиль 1,55 мкм та 1310 нм. У таблицях 1.1, 1.2 та 1.3 представлено геометричні параметри і оптичні характеристики одномодових оптичного волокна виробників відповідно Lucent Alcatel, Corning і Fujikura (згідно з рекомендацією MCE G.652).

Одномодові оптичного волокна розроблялись в один і той самий час коли і багатомодові, але з часом стали найбільш затребуваними оптичними волокнами, які використовуються на мережах зв'язку. На початку використовувались оптичні волокна із ступінчастим профілем показника заломлення, сердечина яких легована GeO₂. Такі одномодові волокна досі називають стандартними. Їх характеристики регламентовані Стандартом ІЕС 60793-2-50 і Рекомендацією ІТУ-Т G.652. Перша версія Рекомендації була затверджена у жовтні 1984 р. Після цього вона багато разів переглядалась. На сьогоднішній день вийшла друком вже восьма версія. Ці оптичного волокна застосовуються найбільш широко. Їх кілометричне загасання було знижене до рівня від 0,180 до 0,190 дБ/км. До недоліків цих волокон слід віднести значна хроматична дисперсія, яка довжині хвилі $\lambda = 1,55$ мкм складає 17–20 пс/(нм км).

Таблиця 1.1 – Характеристики одномодових волокон Lucent Alcatel

Виробник		Lucent Alcatel			
1		2	3	4	5
Позначення		SM-9/125	TrueWave	AllWave	TrueWave
ITU-T відповідність		G. 652	G. 655	G. 655	G. 655
Тип оптичного волокна		SSF	NZDSF	NZDSF	NZDSF
Геометричні розміри одномодових оптичних волокон					
Діаметр модової плями, мкм: на: $\lambda=0,85$ мкм		9.3±0,5	-	9.3±0,5	-
Діаметр модової плями, мкм: на $\lambda=1300$ нм		10,5±1.0	8.4±0,6	10,5±1.0	8.4±0,6
Довжина хвилі відсічки, нм	у волокні	-		-	-
	у кабелі	≤ 1260,0		≤ 1260,0	≤ 1260,0
Діаметр оболонки, мкм		125 ± 10	125 ± 10	125 ± 10	125 ± 10
Діаметр покриття, мкм		245 ± 10	245 ± 10	245 ± 10	245 ± 10
Дисперсійні характеристики одномодових оптичних волокон					
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм		1300...1322 (1312 нм)	>1450	1300...1322	1540...1560
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм км)		≤18 (1,55 мкм)	-9 (1.310 мкм) 4.52 (1,55мкм)	-	0,8...4.6 (1,55 мкм)
Поляризаційна модова дисперсія, пс/(нм км)		<0,2	≤ 0,5 (1,55 мкм)	≤ 0,5	≤ 0,5 (1,55 мкм)
Коефіцієнт загасання у одномодових оптичних волокон, дБ/км					
Максимальний на: $\lambda=0,85$ мкм		0,35...0,40	-	0,35...0,40	-
Максимальний на: $\lambda=1300$ нм		0,21...0,30	0,22...0,25	0,2...0,25	0,2...0,25
Максимальний у діапазоні (1285 - 1330) нм перевищує загасання на $\lambda=1,31$ мкм		Менш ніж на 0,1	-	Менш ніж на 0,1	-

Продовження таблиці 1.1 - Характеристики одномодових волокон Lucent Alcatel

1	2	3	4	5
Максимальний у діапазоні (1525 - 1575) нм перевищує загасання на $\lambda=1,55$ мкм	Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,27-0,3	Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,3
Загасання у піку ОН (1383 $\pm$ 3) нм	<2.0	21.0	<0,31	<1.0
Додаткові характеристики одномодових оптичних волокон				
Сила зняття покриття, Н	1.3...8.9		1.3...8.9	1.3...8.9
Ефективний груповий показник заломлення на: $\lambda=0,85$ мкм	1.466		1.466	1.4738
Ефективний груповий показник заломлення на: $\lambda=1300$ нм	1.467		1.467	1.4732
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

Таблиця 1.2 – Характеристики одномодових оптичних волокон Corning

Виробник	Corning		
1	2	3	4
Позначення	ОВ з SMF-28	LEAF	SMF-LS
ITU-T відповідність	G.652	G.652	G.655
Тип волокна	SSF	NZDSF	NZDSF
Геометричні розміри одномодових оптичних волокон			
Діаметр модової плями, мкм на: $\lambda=0,85$ мкм	9.3 $\pm$ 0,5	-	6.6
Діаметр модової плями, мкм на: $\lambda=1300$ нм	10,5...1.0	9...10	8.4...0,5

Продовження таблиці 1.2 -

1		2	3	4
Довжина хвилі відсічки, нм	у волокні	-	-	-
	у кабелі	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260
Діаметр оболонки, мкм		125 ± 10	$125,0 \pm 10$	125 ± 10
Діаметр покриття, мкм		245 ± 10	245 ± 10	245 ± 10
Дисперсійні характеристики одномодових оптичних волокон				
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм		1301.5 – 1321.5	-	1530...1560
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм км)		1.0...6.0 (1530...1565нм)	-	-
Поляризаційна модова дисперсія, пс/		$\leq 0,5$	$< 0,2$ (1,55 мкм)	$\leq 0,5$ (1,55 мкм)
Коефіцієнт загасання у одномодових оптичних волокон, дБ/км				
Максимальний $\lambda=0,85$ мкм		$\leq 0,34$	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$
Максимальний $\lambda=1.300$ мкм		$\leq 0,2$	$\leq 0,25$	$\leq 0,25$
Максимальний у діапазоні (1285 - 1330) нм перевищує загасання на $\lambda=1,31$ мкм		Менш ніж на 0,05	-	-
Максимальний у діапазоні (1525 - 1575) нм перевищує загасання на $\lambda=1,55$ мкм		Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,05
Загасання в піку ОН (1383 $\pm$ 3) нм		< 2.1	< 1.0	< 2.0
Додаткові характеристики одномодових оптичних волокон				
Ефективний груповий показник заломлення $\lambda=0,85$ мкм		1.4675	-	1.471
Ефективний груповий показник заломлення $\lambda=1300$ нм		1.4681	1.469	1.470
Числова апертура		0,13	-	0,16
Різниця показників заломлення, %		0,36	-	-
Профіль показника заломлення		сходинка	трикутник	трикутник
Робочі вікна прозорості, нм або довжини хвиль		1310/1550	1530...1625	1530...1560

Таблиця 1.3 – Характеристики одномодових оптичних волокон Fujikura

Виробник		Fujikura		
1		2	3	4
Позначення		DSMNZ-9/25	SM-10/125	DSM-8/125
ITU-T відповідність		G.655	G.652	G.653
Тип волокна		NZDSF	SSF	NZDSF
Геометричні розміри одномодових оптичних волокон				
Діаметр модової плями, мкм на: $\lambda=0,85$ мкм		-	8.5...9.6	-
Діаметр модової плями, мкм на: $\lambda=1300$ нм		9.5 $\pm$ 0,5	-	8.1
Довжина хвилі відсічки, нм		1450	1180...1320	-
Діаметр оболонки, мкм		125 $\pm$ 10	125 $\pm$ 10	125 $\pm$ 10
Діаметр покриття, мкм		245 $\pm$ 10	245 $\pm$ 10	245 $\pm$ 10
Дисперсійні характеристики одномодових оптичних волокон				
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм		-	1301...1322	1525...1575
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм км)		1.0...6.0 (1,55 мкм)	≤ 3.5 1285...1330)нм ≤ 18 (1,55 мкм)	3.5 (1525...1575)нм
Поляризаційна модова дисперсія, пс/		$\leq 0,5$	-	$\leq 0,5$
Поляризаційна модова дисперсія, пс/		$\leq 0,5$	-	$\leq 0,5$
Коефіцієнт загасання у одномодових оптичних волокон, дБ/км				
Максимальний на: $\lambda=0,85$ мкм		$\leq 0,45$	$\leq 0,34$	-
Максимальний на: $\lambda=1300$ нм		$\leq 0,25$	$\leq 0,22$	$\leq 0,3$
Максимальний у діапазоні (1285 - 1330) нм перевищує загасання на $\lambda=1,31$ мкм		-	Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,05

Продовження таблиці 1.3			
1	2	3	4
Максимальний у діапазоні (1525 - 1575) нм перевищує загасання на $\lambda=1,55$ мкм	<0,25	Менш ніж на 0,05	Менш ніж на 0,05
Загасання в піку ОН (1383±3) нм	-	<1.0	<1.0
Додаткові характеристики одномодових оптичних волокон			
Ефективний груповий показник заломлення на: $\lambda=0,85$ мкм $\lambda=1300$ нм	- 1.469	1.465 1.465	1.468 1.468
Числова апертура	-	-	-
Різниця показників заломлення, %	-	0,36	-
Профіль показника заломлення	-	сходінка	-
Робочі вікна прозорості, нм або опорні довжини хвиль	1310/1550	1300/1550	1310/1550

У багатомодовому волокні діаметр серцевини більший, ніж довжина хвилі ($d > \lambda$), тому по такому волокну може поширюватись моди як низького так і високого порядку. Діаметр оболонки багатомодових волокон дорівнює 125 мкм, а діаметр серцевини дорівнює 50 або 60 мкм. По багатомодовому оптичному волокні поширюються сигнали із робочі довжини хвиль: 1300 і 0,85 мкм. Геометричні і оптичні характеристики різних типів багатомодових волокон наведено у таблиці 1.4 [4].

Таблиця 1.4 – Характеристики багатомодових оптичних волокон Alcatel Lucent, Corning, Fujikura, Sumitomo Electric

Виробник	Corning		Alcatel Lucent
1	2		3
Геометричні розміри багатомодових оптичних волокон			
Діаметр осердя, мкм	62.5±3.0	50±3.0	62.5±3.0

Продовження таблиці 1.4

1	2			3
Неконцентричність осердя, %	≤5.0	≤5.0		≤6.0
Діаметр оболонки, мкм	125 ± 0,2	125 ± 0,2		125 ± 0,2
Діаметр покриття, мкм	245 ± 10	245 ± 10		245 ± 10
Дисперсійні характеристики багатомодових оптичних волокон				
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм	1332 - 1354	1297 - 1316		1328 - 1350
Коефіцієнт загасання багатомодових оптичних волокон, дБ/км				
Максимальний на: λ=0,85 мкм	2.8...3.5	≤2.5	2.4...2.5	2.8...3.5
Максимальний на: λ=1300 нм	0,7...1.0	≤ 0,8	0,5...0,8	0,7...1.0
Загасання на вигині (100 витків) λ=1300 нм	≤ 0,5	≤ 0,5		-
Ширина смуги пропускання багатомодових оптичних волокон, МГц км				
на: λ=0,85 мкм	160...200	400...600		160...250
на: λ=1300 нм	200...600	400...1000		400...1000
Додаткові характеристики багатомодових оптичних волокон				
Ефективний показник заломлення на: λ=0,85 мкм	1.496	1.490		1.496
Ефективний показник заломлення на: λ=1300 нм	1.487	1.486		1.491
Різниця показників заломлення, %	2.0	1.0		2.0
Виробник	Sumitomo Electric			Fujikura
Числова апертура	0,275±0,015	0,200±0,015		0,275±0,015
Профіль показника заломлення	градієнтний	градієнтний		градієнтний
Геометричні розміри багатомодових оптичних волокон				
Діаметр осердя,мкм	50±3.0	62.5±3.0	100±5	50±3.0
Неконцентричність осердя, %	-	-	-	-
Діаметр оболонки, мкм	125 ± 2.0	125 ± 2.0	140 ± 3.0	125.0

Продовження таблиці 1.4

1	2							3
Діаметр покриття, мкм	250 ± 10			250,0		250 ± 10		250
Дисперсійні характеристики багатомодових оптичних волокон								
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм	-			-		-		-
Коефіцієнт загасання у багатомодових оптичних волокон, дБ/км								
Максимальний на: λ=0,85 мкм λ=1300 нм	3.0 1.0	2.5 -	0,7 -	3.5 1.5	3.5 1.5	4.0 2.0	4.0 2.0	3.0 1.0
Ширина смуги пропускання багатомодових оптичних волокон, МГц км								
λ=0,85 мкм λ=1300 нм	200 500	400 -	600 -	150 500	150 200	150 500	100 300	200 - 500 200 - 500
Додаткові характеристики багатомодових оптичних волокон								
Ефективний показник заломлення на: λ=0,85 мкм	-			-		-		-
Ефективний показник заломлення на: λ=1300 нм	-			-		-		-
Різниця показників заломлення, %	-			-		-		-
Числова апертура	0,210±0,02			0,210±0,02		0,210±0,02		-
Профіль показника заломлення	градієнтний			градієнтний		градієнтний		градієнтний

Поширюючись в оптичному волокні відбувається послаблення потужності сигналу. Цей ефект називається загасанням. Максимальна дальність роботи волоконно-оптичної лінії зв'язку залежить від згасання. Розсіювання Реллея оптичного сигналу на флуктуаціях щільності та складу матеріалу є основною причиною загасання. Крім цього відбувається поглинання оптичного сигналу під час збудження у матеріалі електронних переходів і резонансів, які перетворюють на тепло частину енергії оптичного сигналу.

На рисунку 1.4 представлено фундаментальну залежність втрат у матеріалі оптичного волокна на поглинання та Релеєвське розсіювання від довжини хвилі оптичного випромінювання.

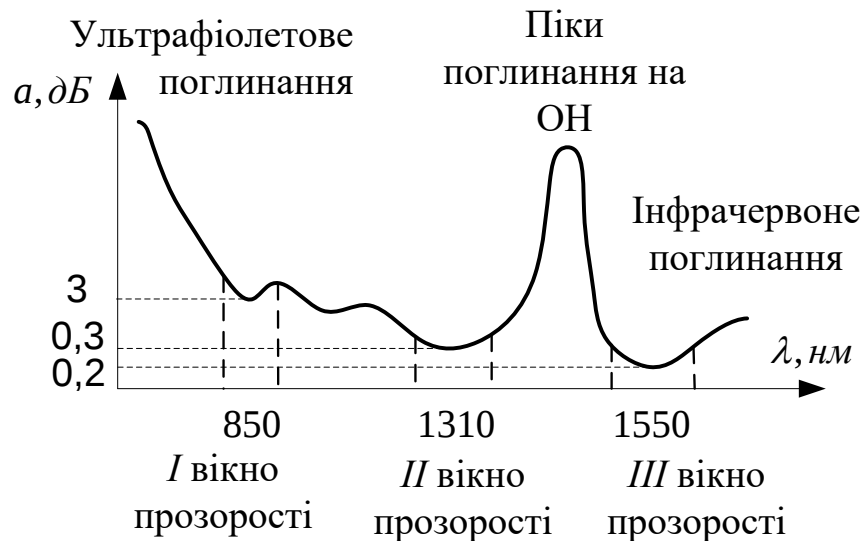


Рисунок 1.4 – “Вікна прозорості” оптичного волокна

Із графіку на рисунку 1.5 видно, що для довжин хвиль, більших 1500 нм стає більш суттєвим інфрачервоне поглинання, а для довжин хвиль до 1400 нм – ультрафіолетове. Крім цього, в оптичному волокні існують також поглинання на домішках в матеріалі волокна. Домішки гідроксидної групи OH вносять найбільший вклад у величину загасання. На графіку залежності втрат від довжини хвилі для волокон з очищеного кварцового скла чітко видно три вікна прозорості: 0,85 мкм, 1,31 мкм і 1,55 мкм (рисунки 1.4). Ці довжини хвиль застосовують для поширення оптичних сигналів у сучасних оптичних лініях [2].

Кілометричне загасання оптичного сигналу – втрати оптичної потужності певної довжини хвилі на один кілометр лінії. Для прикладу, для одномодового оптичного волокна на довжині хвилі 1,55 мкм значення кілометричного загасання становить менше 0,2 дБ на км, а для довжини хвилі 1,31 мкм менше 0,3 дБ на км. У паспортній документації на оптичний кабель обов’язково вказується значення кілометричного загасання.

1.2 Волоконно-оптична лінія зв'язку

Напрямна система із оптичними волокнами (ОВ) використовується для поширення оптичного сигналу і виконуються у вигляді оптичних кабелів зв'язку.

Сучасні оптичні кабелі використовуються для усіх видів з'єднань телекомунікаційної апаратури, станційного обладнання, регенераційних і підсилювальних пунктів, вузлів зв'язку, які разом утворюють телекомунікаційну систему зв'язку. Кабелі зв'язку прокладеного за певною географічною траєкторією і представляють собою інженерні кабельні споруди, які при необхідності забезпечуються пристроями захисту від сторонніх впливів.

Насамперед зазначимо, що на сьогоднішній день термін «зв'язок» має більш широкий зміст, а ніж просто телефонія. Сучасні лінії зв'язку здійснюють двосторонню передачу різноманітних інформаційних даних, голосового трафіку, відео та повідомлень. Тому надалі терміни «передача даних» і «зв'язок» будемо вважати синонімами.

Характерною особливістю оптичних ліній є передача сигналів у заданому напрямку у штучних напрямних системах із відповідним рівнем якості та надійності. Найбільш поширеним та перспективним видом напрямних систем є волоконно-оптичні. Здебільшого саме вони використовуються для розбудови транспортних мереж.

Січасні волоконно-оптичні лінії зв'язку складається із оптичних кабелів, що містять відповідну напрямну систему, муфти, які з'єднують будівельні довжини та влаштовують розгалуження телекомунікаційних мереж, а також пристроїв кінцевого обладнання із роз'ємними з'єднаннями, з допомогою яких підключається апаратура передачі даних, різноманітне телекомунікаційне обладнання. Окрім цього невід'ємними складовими сучасних ліній зв'язку є засоби захисту від зовнішніх негативних впливів. (рисунок 1.5).

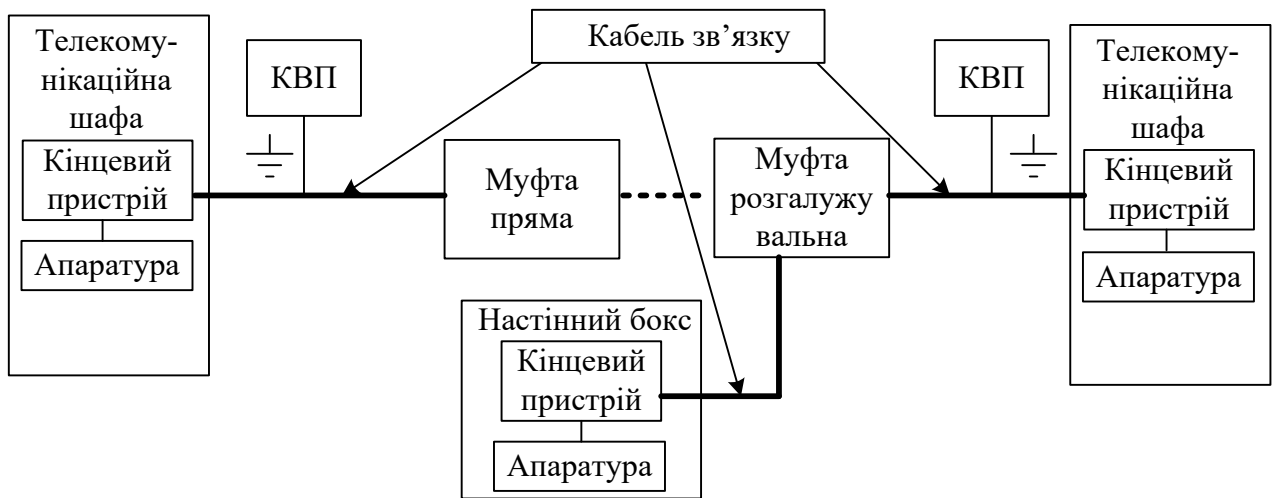


Рисунок 1.5 – Структура оптичної кабельної лінії зв'язку

Кінцеві пристрої або оптичні панелі (Optical Distribution Frame, ODF) використовують для під'єднання до оптичної лінії зв'язку передавально-приймального обладнання, вимірювально-контрольних приладів, високошвидкої комутації оптичних волокон тощо.

На рисунку 1.6 представлена оптична панель, конструкція якої широко використовуються на різних місцевих і магістральних кабельних волоконно-оптичних лініях зв'язку.

Габарити цієї панелі дозволяють її розміщати у телекомунікаційній стійці або шафі розміром 19 дюймів. Для доступу до пігтейлів та зварних з'єднань панель має поворотний або висувний елемент, а також зйомну верхню кришку.

На фронтальній панелі кінцевого оптичного пристрою розміщуються адаптери роз'ємних з'єднань, які фіксуються у відповідних отворах під кутом 45°. Це унеможливорює небезпеку випромінювання оптичного сигналу на обслуговуючий персонал. В залежності від призначення та ємності волоконно-оптичного кабелю, в панелі використовується різна кількість адаптерів і може перевищувати 96 портів. Із внутрішньої сторони фронтальної панелі до адаптерів під'єднуються пігтейли з оптичними конекторами.

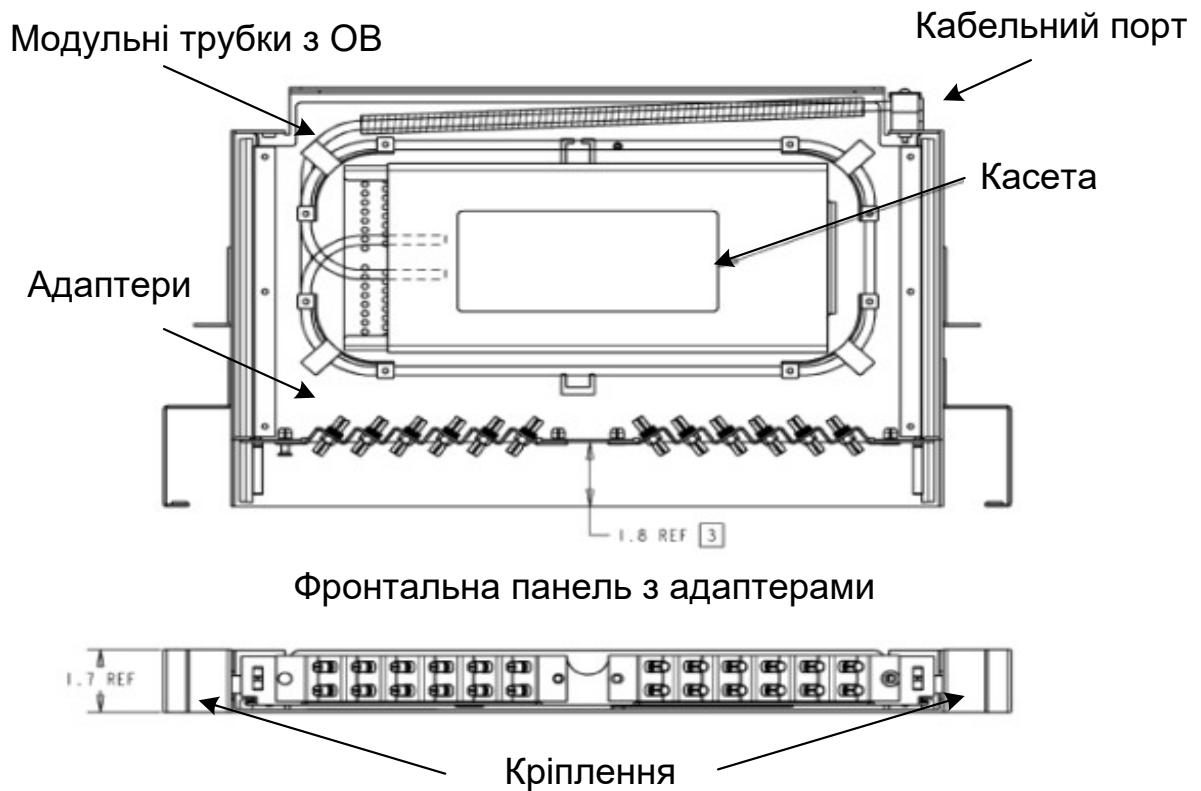


Рисунок 1.6 – Конструкція кінцевого пристрою оптичної панелі

В середині панелі розміщається касета із зварними з'єднаннями і технологічним запасом піктейлів і оптичних волокон.

На задній стінці оптичної панелі передбачено декілька кабельних вводів, місця для кріплення кабелю хомутами та фіксатори силового елементу волоконно-оптичного кабелю.

Найбільшого поширення набула конструкція роз'ємних з'єднань у вигляді «конектор-втулка-конектор», що базується на методі «щільного з'єднання» оптичних волокон.

На рисунку 1.7 представлена конструкція такого з'єднання, що складається з двох оптичних конекторів, у яких знаходяться закінчення оптичних волокон, та адаптера із втулкою, що доє можливість точного юстування і щільного з'єднання волокон.

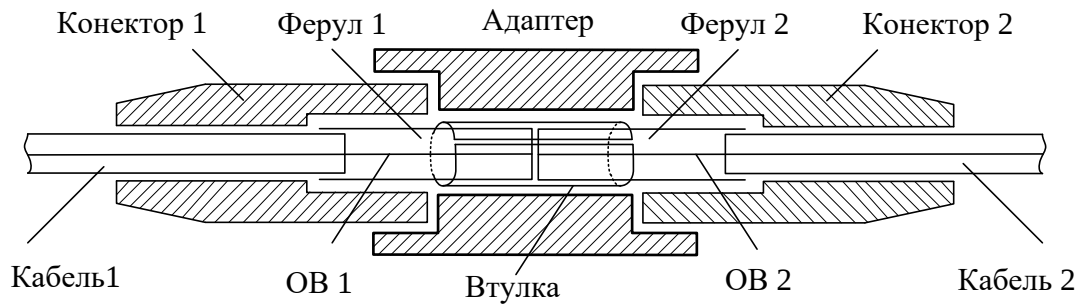


Рисунок 1.7 – Конструкція роз'ємного з'єднання

У всередині корпусу оптичного конектора розміщується наконечник, що називається ферул (ferrule). Ферул зазвичай має циліндричну форму з тонким наскрізним отвором вздовж вісі симетрії, в який вклеюється кінець волокна. Діаметр отвору залежить від типу оптичного волокна. Для багатомодового волокна діаметр отвору ферула становить 127-130 мкм, для одномодового – 125,5-127 мкм. Найбільш поширений - це ферул з діаметром 2,5 мм, а в міні-атюрних – 1,25 мм. Виготовляють ферул зазвичай з різних видів кераміки, зоктерма, діоксиду цирконія.

Поверхня торця ферула полірується. Під час виготовлення конектора і шліфується для забезпечення якісного (Physical Contac) контакту у місці з'єднання волокон.

Втулка адаптера призначена для центрування ферули конекторів. Вона має повздовжній розріз (рисунок 1.3). Для з'єднання багатомодових волокон використовують бронзові втулки, а для з'єднання одномодових – керамічні. Для якісного фізичного контакту роз'ємного з'єднання ферули у конекторі підпружинюються, що робить місце з'єднання незалежним від корпусу адаптера та конекторів. Фіксація конекторів у адаптері може бути байонетною, різьбовою на защібках тощо.

1.3 Аналіз втрат у роз'ємних з'єднаннях

Механічна конструкція роз'ємного з'єднання зумовлює виникнення втрат оптичного сигналу у роз'ємного з'єднання на загасання та зворотне відбиття. Рівень шумів у лінії зв'язку визначається зворотнім відбиттям. Це важливий параметр має значення для магістральних швидкісних систем передачі даних, а також для місцевих кабельних мереж. Інший параметр – загасання в роз'ємному з'єднанні стає відчутним у місцевих мережах із великою кількістю таких з'єднань для комутації абонентів та оптичних кабелів, забезпечення гнучкості мережі тощо.

Розглянемо вплив конструктивних особливостей на параметри роз'ємного з'єднання та методи їх зменшення. Припустимо, що оптичні і геометричні параметри волокон, не впливають на загасання та зворотне відбиття оптичного сигналу у з'єднанні конекторів.

Внесені втрати у місцях роз'ємних з'єднань оптичних волокон визначаються із співвідношення [26]:

$$A = 10 \lg \frac{P_{вих}}{P_{вх}}, \quad (1.5)$$

де $P_{вих}$ та $P_{вх}$ – потужність оптичного випромінення на виході та на вході роз'ємного з'єднання відповідно.

Розглядаючи оптичні волокна із рівномірним розподілом потужності по модам та ступінчастим показником заломлення. Загальні втрати в роз'ємного з'єднання можна представити у вигляді суми втрат, зумовлених конструкцією конектора, зокрема, це втрати через повздовжнє A_s , поперечне A_δ , кутове A_θ зміщення, а також інші втрати A_i , наприклад зумовлені неякісним поліруванням або забрудненням торцевих поверхонь ферул конекторів роз'ємних з'єднань:

$$A_p = A_s + A_\delta + A_\theta + A_i. \quad (1.6)$$

Найбільш поширеним видом зміщення у роз'ємних з'єднаннях є повздо-
вжнє або осьове зміщення оптичного волокна (рисунок 1.8). При цьому в
роз'ємі між торцевими поверхнями ферул виникає повітряний простір, дов-
жиною s . Під час проходження оптичного сигналу через границю розділу се-
редовищ волокно-повітря-волокно, які відрізняються показниками заломлен-
ня, виникає послаблення потужності оптичного сигналу та явище френелів-
ського відбиття. Необхідно зазначити, що таких меж є дві: перша R_2 – між
повітряним простором з і OB_2 , і друга R_1 – між першим волокном та повітря-
ним зазором z . В результаті відбите випромінювання на границях R_1 і R_2
спрямовується як в сторону передавача оптичного сигналу у першому волок-
ні, так і в сторону приймача у другого оптичного волокна.

При повздовжньому зміщенні s втрати оптичної потужності сигналу мо-
жуть бути розраховані за формулою:

$$A_s = -10 \cdot \lg \left[\frac{1}{1 + 2(s/d) \cdot \operatorname{tg}[(\arcsin(NA/n_0))]^2} \right] \approx -10 \lg \frac{2}{2 - \frac{s}{d} \cdot \operatorname{tg} \Theta_A}, \quad (1.7)$$

де s – осьове або повздовжнє зміщення; n_0 – показник заломлення середови-
ща; NA – числова апертура; Θ_A – апертурний кут; d – діаметр сердцевини OB .

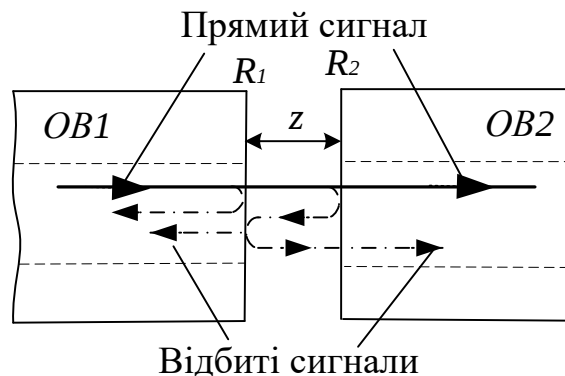


Рисунок 1.8 – Повздовжнє зміщення оптичного волокна у роз'ємному з'єднанні

З графіку на рисунку 1.8 видно, що рівень втрат оптичного сигналу у роз'ємному з'єднанні збільшується із збільшенням числової апертури оптичного волокна і зазору між торцевими поверхнями оптичних волокон. Це призводить до виникнення інтерференції зустрічних сигналів, а також до зменшення вихідної потужності.

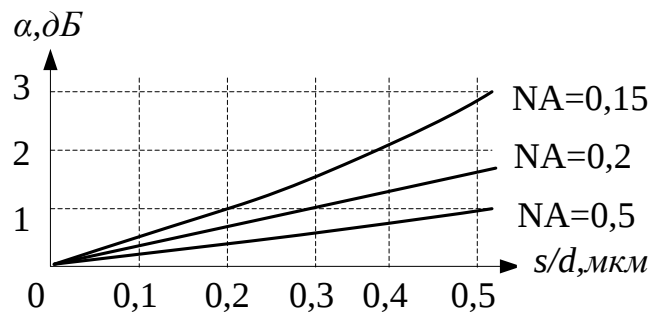


Рисунок 1.9 – Втрати при повздовжньому зміщенні оптичного волокна у роз'ємному з'єднанні

Якщо у роз'ємному з'єднанні центральна вісь одного волокна не співпадає з центральною віссю другого, тоді виникають втрати із-за поперечного або радіального зміщення (рисунки 1.9). При цьому зменшується ефективна площа проходження сигналів у місці з'єднання серцевин оптичних волокон. В результаті частина оптичного випромінювання з серцевини одного оптичного волокна переходить в оптичну оболонку другого оптичного волокна і загасає у ній експоненційно.

Втрати в роз'ємному з'єднанні при поперечному зміщенні можуть бути розраховані за формулою:

$$A_{\delta} = -10 \lg \left[1 - \frac{4}{\pi} \cdot \frac{\delta}{d} \right] \approx -10 \lg \frac{d}{d - \delta}, \quad (1.8)$$

де δ – поперечне зміщення вісі оптичних волокон; d – діаметр серцевини оптичних волокон.

Із графіку на рисунку 1.10 видно, що поперечне зміщення на декілька мікрон призводить до значних втрат у розумних з'єднаннях до 2-3 дБ. Особливо вони відчутні при з'єднанні одномодових оптичних волокон, у яких малий діаметр серцевини складає від 8 до 9 мкм.

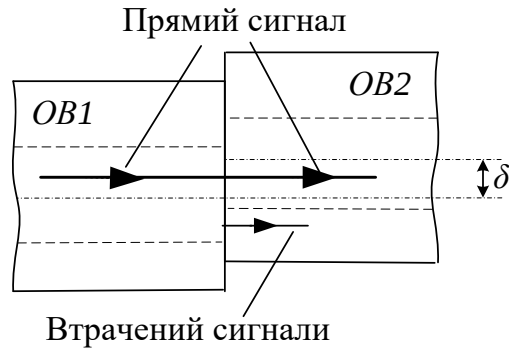


Рисунок 1.10 – Поперечне зміщення оптичних волокон роз'ємних з'єднаннях

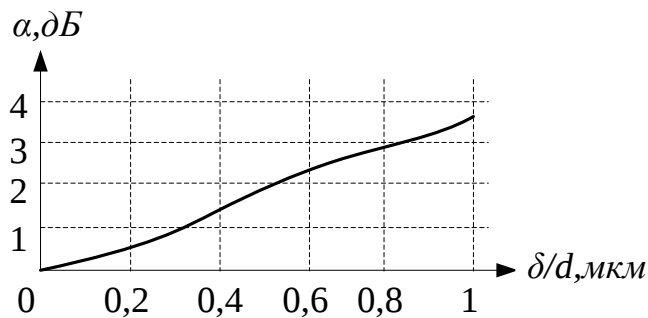


Рисунок 1.11 – Втрати при поперечному оптичних волокон роз'ємних з'єднаннях

Ще одним видом механічного зміщення у роз'ємному з'єднанні є кутове (рисунок 1.11). При зміщенні оптичного волокна на кут θ виникає повітряний зазор, який призводить до появи послаблення оптичної потужності сигналу та його зворотнього відбиття. При кутовому зміщенні втрати розраховуються з допомогою формули:

$$A(\alpha) = -10 \cdot \lg \left(1 - \frac{2 \cdot \theta}{\pi \cdot \arcsin NA} \right) \approx -10 \lg \frac{\theta_A}{\theta_A - \theta}, \quad (1.9)$$

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

Навіть незначне зміщення оптичних волокон на декілька градусів призводить до загасання у декілька децибел (рисунк 1.12). При цьому мають місце додаткові втрати мод високого порядку.

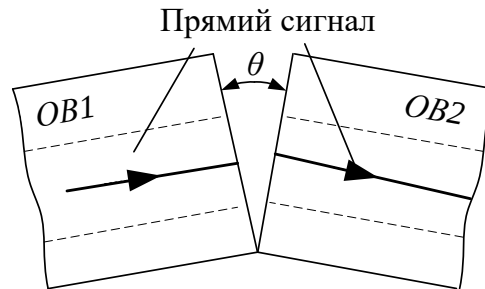


Рисунок 1.12 – Кутове зміщення оптичного волокна у РЗ

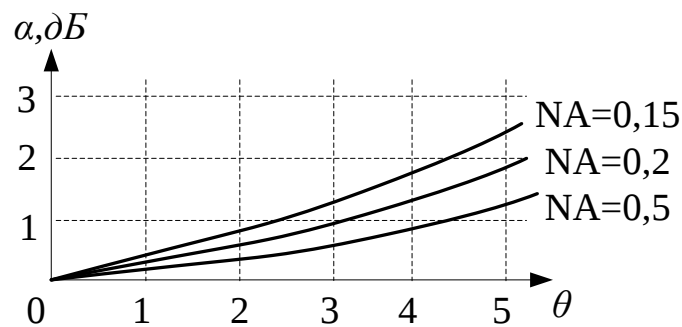


Рисунок 1.13 – Втрати при кутовому зміщенні оптичного волокна у РЗ

Якість оптичного контакту залежить від та способу полірування його поверхні та форми торцевої поверхні фєрула конектора. Якщо відстань між ними набагато менша від довжини хвилі випромінювання, тоді дві поверхні вважаються в оптичному контакті [4]. Полірування зменшує повітряний зазор між торцевими поверхнями у роз'ємному з'єднанні і забезпечує оптичний контакт оптичного волокна. На сьогоднішній день розрізняють такі типи полірування конекторів: PC, SPC, UPC та APC.

На рисунку 1.14 а наведено перші зразки конекторів, торець фєрула яких мав пласку поверхню, що полірувалась вручну методом Physical Contact (PC). В процесі експлуатації таких конекторів виявилось, що абсолютно плоскої поверхні досягти не можливо і між торцевими поверхнями утворюються мік-

ронерівності з повітряними зазорами, в результаті коефіцієнт зворотного відбиття складав від -35 до -40 дБ. Конектори з поліруванням типу РС не знайшли широкого застосування. Наприклад, для багатомодових оптичних волокон у локальних мережах доступу.

Конектори із сферичною формою торця ферула та радіусом заокруглення 10...25 мм (рисунок 1.15, б) прийшли на зміну плоским. Такі конектори виготовляються із цирконію - це більш м'який керамічний матеріал. При цьому полірування виконувалось з допомогою спеціальних полірувальних машин. Це полірування Super Physical Contact (SPC) і Ultra Physical Contact (UPC). Це забезпечує оптичний контакт безпосередньо у місці з'єднання волокна і суттєво зменшує коефіцієнт відбиття до -54 дБ. Ферула сферичної форми з поліруванням SPC набули найбільшого поширення. Конектори, які відрізняються типом полірування РС, UPC і SPC, сумісні між собою і можуть бути під'єднанні через відповідний адаптер. Слід зауважити, що збільшення коефіцієнта відбиття може виникати у з'єднаннях конекторів із різними типами полірування.

Конектори з такими видами полірування широко застосовуються як на магістральних так і у локальних мережах. Вони використовуються у більшості системах передачі зі швидкістю 2,5 Гбіт/с і вище, комп'ютерних мережах структурованих кабельних системах та т. ін..

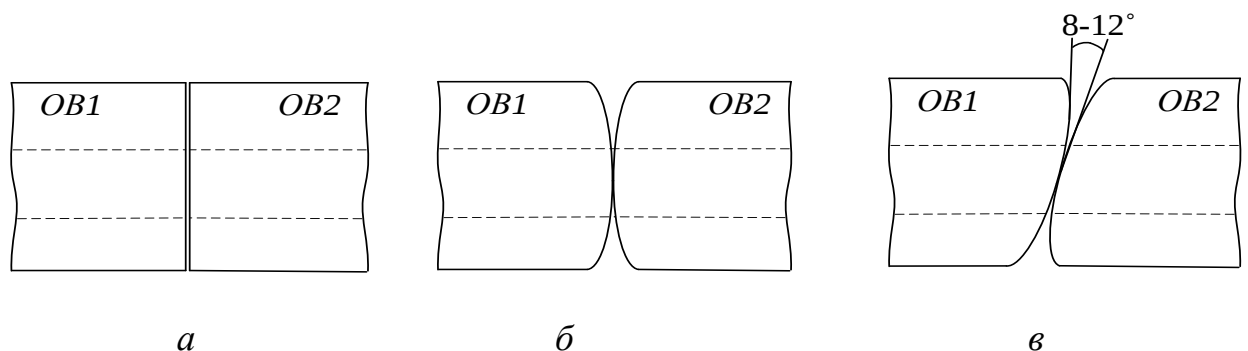


Рисунок 1.14 – Види полірування: а – РС; б – SPC, UPC; в – APC

Найбільш ефективний з точки зору зменшення рівня зворотного відбиття є метод полірування торцевої поверхні ферул оптичних конеткорів під кутом $8-12^\circ$ (Angled Physically Contact, APC). В такому з'єднанні відбитий сигнал спрямовується під кутом більшим, ніж кут введення оптичного випромінювання у волокно. При з'єднанні торці конекторів притискаються один до одного з певним зусиллям близьким до 2-12 Н. При цьому виникає еластична деформація ферул, яка забезпечує оптичний контакт. Із-за цього кута практично весь відбитий сигнал виходить за межі роз'ємного з'єднання. Максимальні внесені втрати при APC поліруванні конекторів складають 0,10 дБ (IEC 1300-3-4; $\lambda = 1.31/1,55$ мкм), а значення коефіцієнта зворотного відбиття -60 дБ. Тому конектори з APC поліруванням застосовуються у мережах кабельного телебачення та у високошвидкісних транспортних мережах із спектральним ущільнення каналів (WDM). Даний вид конекторів не сумісний з іншими, оскільки при з'єднанні торці поверхні обох конекторів можуть бути пошкоджені.

Для зменшення втрат оптичного сигналу до конструкції роз'ємних з'єднань висуваються жорсткі вимоги. Насамперед – це забезпечення точного юстування оптичних волокон, зокрема вирівнювання вісі при з'єднанні ОВ. Роз'ємної з'єднання повинні забезпечувати велику кількість повторних циклів з'єднання-роз'єднання, тобто мати великий ресурс роботи. При натягуванні оптичного волокна або кабелю, ефективність з'єднання не повинна змінюватись внаслідок збільшення навантаження на корпус з'єднувача. Роз'ємні з'єднання не повинні погіршувати свої параметри під впливом зміни перепадів тиску, температури, вологості, вібрації та т. ін. Нарешті процедура з'єднання-роз'єднання не повинна займати багато часу, повинна бути простою і доступною,.

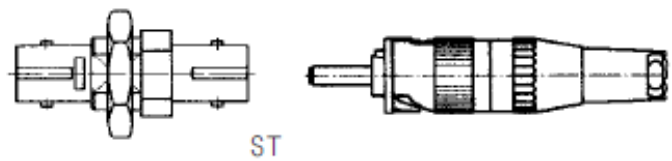
Втрати, які виникають у роз'ємних з'єднаннях, виникають під дією зовнішніх та внутрішніх впливів. До зовнішніх відносять втрати у з'єднанні, пов'язані з механічними відхиленнями конструкції роз'єму. При цьому збільшення загасання і відбиття відбувається через повздовжнє, кутове і попе-

речне зміщення з'єднаних оптичних волокон, а також залежить від якості торцевих поверхонь ферул конекторів. Також є втрати пов'язані із особливостями оптичних волокон, які з'єднуються. Наприклад, відхиленням їх оптичних і геометричних параметрів: не концентричність та еліптичність серцевини, відмінність діаметрів серцевин, відмінність діаметрів оболонок ОВ, різниця діаметрів модових полів одномодових ОВ, відмінність показників заломлення серцевин і числових апертур з'єднувальних оптичних волокон тощо.

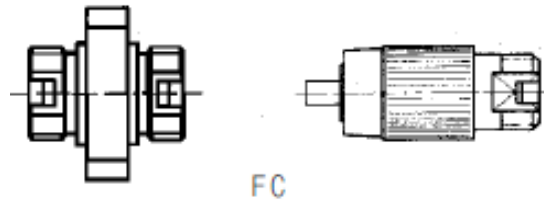
1.4 Характеристики сучасних зразків роз'ємних з'єднань

Існує велика різноманітність роз'ємних з'єднань, що відрізняються матеріалами, з яких виготовляються, а також розмірами, способом фіксації в адаптері конектора, видом полірування торцевих поверхонь ферул тощо. Найбільшого поширення набули такі зразки або типи роз'ємних з'єднань як FC, SC, ST, LC, E2000 (рисунок 1.15).

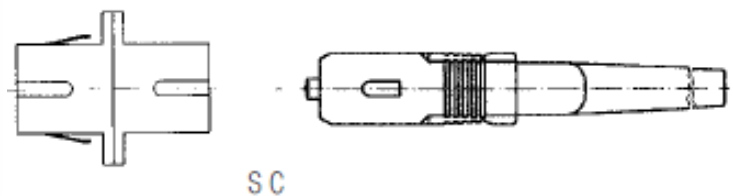
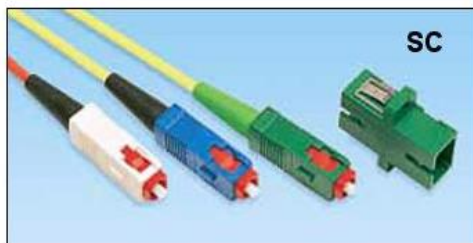
ST роз'ємне з'єднання компанії American Telephon&Telegraph (США) використовуються для з'єднання як багатомодових, так і для одномодових оптичного волокна (рисунок 1.15, а). Фіксація конектора ST у адаптері здійснюється за принципом байонетного замка, аналогічно як для коаксіальних кабелів. Ферул конекторів має діаметр 2,5 мм і може бути у металокерамічному або керамічному виконанні. Даний тип роз'ємного з'єднання характеризується відносно невисокою вартістю а також простотою і надійністю в експлуатації. Недоліками ST є їх чутливість до вібрацій і ударних навантажень. Байонетне прокручування конекторів у адаптері може призвести до пошкодження торцевих поверхонь їх ферул. Через ці недоліки використання таких роз'ємів на рухомих об'єктах обмежене. Конектори ST можна зустріти в підсистемах мереж локального призначення.



a



б



в

Рисунок 1.15 – Оптичні роз'ємні з'єднання: *a* – ST; *б* – FC; *в* – SC

FC роз'ємні з'єднання розробила японська компанія Nippon Telephone&Telegraph, ферул має діаметр 2,5 мм і випуклу торцеву поверхню діаметром 2 мм, що забезпечує фізичний контакт у місці з'єднання оптичних волокон. Фіксуються конектори FC у адаптері з допомогою накладної гайки. В такій конструкції відсутній жорсткий зв'язок підпружиненого наконечника (ферула) з корпусом конектора. Це збільшує вартість конектора, але одночасно і забезпечує їх надійність. Наприклад, стійкість до вібрацій і ударів дозволяє використовувати їх на магістральних та місцевих оптичних лініях зв'язку, поблизу залізниць, на рухомих об'єктах тощо.

Японська компанія NEC є розробником роз'ємних з'єднань SC. Їх корпус має прямокутну форму. Торцева поверхня ферула і діаметр його аналогічні як у FC конекторах. З'єднання і роз'єднання конектора та адаптера викону-

ється лінійно методом «push-pull». Завдяки цьому наконечник (ферул) не пошкоджується в результаті прокручування у місці контакту, як це відбувається у роз'ємах з'єднаннях типу ST і FC. Але при цьому може мати місце не надійна фіксація конектора в адаптері і роз'єднання оптичного волокна у роз'ємному з'єднанні. Застосовуються у транспортних мережах всіх рівнів.

Одна із найбільш складних конструкцій роз'ємних з'єднань реалізована у конекторах типу E-2000, з'єднання і роз'єднання конектора здійснюється лінійно способом «push-pull». У конекторах типа E-2000 ферул має діаметр 2,5 мм. Цей тип з'єднання відрізняється покращеними оптичними показниками, стабільними температурними характеристиками і високою надійністю (гарантовано не менше 2 000 циклів роботи). Корпуси адаптера виготовляються із міцного полімеру і мають квадратну форму, що дозволяє використовувати їх у дуплексному варіанті. Крім цього, конструктивною особливістю E-2000 є пластмасова захисна шторка (кришка) у передній частині конектора. Їх головна особливість – це автоматично відкривається при включенні роз'єму у адаптер, і, відповідно, автоматично закривається при роз'єднанні. Це зменшує імовірність механічного пошкодження чи забруднення торцевої поверхні ферула конектора.

Розроблені у 1997 році американською компанією Lucent Technologies ма-логабаритні роз'ємні з'єднання типу можуть випускатися як в одномодовому, так і в багатомодовому варіантах. У них застосовується керамічний ферул діаметром 1,25 мм. Фіксація конектора у адаптері реалізована за принципом «push-pull». Переважно LC роз'єми виконуються у дуплексному варіанті. Це дозволяє удвічі збільшити щільність без зміни зовнішніх габаритів комутаційної панелі. Гарантовано виробниками до пів тисячі циклів з'єднань. Технічні характеристики деяких видів роз'ємних з'єднань наведено у таблиці 1.5

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики оптичних роз'ємів

Тип		FC	SC		ST	
		FC / PC	SC MM	SC SM	ST MM	ST SM
Фізичні характеристики						
Тип з'єднання (фіксація)		Різьбове M8x0,75, замок	Засувка з фіксатором (дизайн push-pull)		Байонетна фіксація зі замком	
З'єднання		Заокруглена, фізичний контакт, плаваючий кінцевич, конструкція без втягнення кабелю			Заокруглена, фізичний контакт, підпружинення	
Сумісне волокно		SMF: D/125 мкм	MMF: 50/125; 62.5/125 мкм	SMF: D/125 мкм	MMF: 50/125; 62.5/125 мкм	SMF: D/125 мкм
Оптичні характеристики						
Втрати що вносяться	FLAT	< 1.0 дБ	-	-	-	-
	PC	< 0,5 дБ	< 0,25 дБ	< 0,5 дБ	< 0,7 дБ	< 1.0 дБ
	SPC	< 0,5 дБ	< 0,25 дБ	< 0,5 дБ	-	< 0,7 дБ
	UPC	< 0,5 дБ	-	< 0,5 дБ	-	< 0,7 дБ
	APC	< 0,5 дБ	-	< 0,5 дБ	-	-
Зворотні втрати	FLAT	-	-	-	-	-
	PC	< -27 дБ	< -22 дБ	< -27 дБ	-	< -30 дБ
	SPC	< -40 дБ	< -36 дБ	< -40 дБ	-	< -40 дБ
	UPC	< -50 дБ	-	< -50 дБ	-	< -50 дБ
	APC	< -60 дБ	-	< -60 дБ	-	-
ЛВС		-	+	+	+	+
Системи зв'язку		+	-	+	-	+
Кабельне телеб.		+	-	+	-	-

1.5 Висновки до розділу

Якщо вважати за основний критерій якості роз'ємних з'єднань кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку - втрати оптичної потужності під час передачі сигналів у оптичних конекторах, тоді у оптичних роз'ємах додатково можуть виникати втрати поглинання та відбиття, які зумовлені :

- порушенням технології монтажу роз'ємних з'єднань із-за забруднення та пошкодження поверхні ферула оптичних конекторів

- значною відмінністю геометричних та оптичних параметрів оптичних волокон, що ускладнює процес їх з'єднання у конструкції конектор-адаптер
- погіршення механічних характеристик конекторів протягом тривалого терміну експлуатації, що призводить до труднощів повторного їх з'єднання.

Таким чином, оцінювання якості оптичних конекторів роз'ємних з'єднань можуть бути виконано:

- під час експлуатації волоконно-оптичної лінії зв'язку шляхом обстеження конекторів з допомогою відеомікроскопу;
- шляхом вимірювання оптичної потужності під час “прозвонки” оптичних волокон;
- вимірювання загасання у роз'ємному з'єднанні методом зворотного розсіювання.

Для цього розглянемо існуючі методи та засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань одномодових оптичних волокон

2 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ВТРАТ У РОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАННЯХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

2.1 Тестування з допомогою оптичних мікроскопів

В результаті попереднього аналізу встановлено, що конектори оптичних роз'ємів є складним елементом оптичного з'єднання, що складається з ферула і корпусу. Ферула може мати бічну поверхню у формі циліндра, прямокутника або іншу. Один або більше отворів уздовж вісі є із вклеєними оптичними волокнами. Торець ферула повинен бути відполірований. Функція конектора - максимально точно з'єднати оптичні волокна, забезпечуючи при цьому мінімальні втрати оптичної потужності в точці їх контакту.

У роз'ємному з'єднанні під дією сили стиснення два ферула та вклеєні в них волокна з'єднуються. При цьому оптичні волокна деформуються по торцям в центральній частині таким чином, що утворюють контакт волокон без повітряного проміжку між ними.

Необхідно зазначити, що від замка з'єднання значна частина сили тиску перерозподіляється по поверхні ферула для запобігання перенапруженню волокна і погіршення оптичних параметрів, руйнуванню волокон та навіть передчасному старінню в місці контакту. Відсутність повітряного зазору між торцями волокон необхідне для виключення в зоні контакту стрибка показника заломлення, віддзеркалення і ослаблення оптичного сигналу, що розповсюджується по волокну. Поверхневі геометричні параметри торця ферула мають відповідати дуже жорстким вимогам. Обов'язковим є також контроль дефектів на поверхні волокна і якості полірування.

За статистикою, зібраною міжнародними телекомунікаційними операторами [4], більшість відмов оптичних ліній зв'язку та мереж пов'язано із дефектами та забрудненням оптичних конекторів. У зв'язку з цим, для забезпечення надійності роботи оптичних ліній необхідно виконувати перевірку та контролю якості всіх оптичних з'єднань. У міжнародних стандартах IEC і

ІЕС описано критерії і методику такого тестування. Відео мікроскопи оптимально підходять для вирішення цих задач та дозволяють у автоматичному режимі проводити перевірку якості стану торцевих поверхонь оптичних конекторів.

У сучасних моделей відеомікроскопів є декілька ступенів збільшення. При незначному збільшенні зображення на екран виводиться область 912 на 912 мкм, що дозволяє побачити майже всю ферулу конектора із діаметром 1250 мкм або 1,25 мм. При середньому збільшенні область огляду становить 608 на 608 мкм. При найбільшому збільшенні область огляду дорівнює 304 на 304 мкм. Найбільше збільшення дозволяє в деталях розглянути оболонку оптоволокна із діаметром, що дорівнює 1,25 мм і центральну, сигнальну область, яка для одномодового волокна складає 8-9 мкм.

Станом на даний час виробники оптичних відео мікроскопів пропонують бездротові, а також мікроскопи які з допомогою USB кабелю підключаються до комп'ютера (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Відеомікроскоп з підключенням до комп'ютера

На рисунку 2.2 представлено бездротову модель, яка є досить зручною у роботі, оскільки виключають фізичне з'єднання між пристроєм відображення та відеомікроскопом. Досить зручно на практиці підключатися до оптичного обладнання, тримаючи в руках компактний та легкий мікроскоп без проводів.



Рисунок 2.2 – Бездротовий відеомікроскоп

Відеомікроскопи, при встановленні відповідної насадки, дозволяють автоматично тестувати різні типи конекторів.

Так на рисунку 2.3 наведено приклад збільшеного зображення торцьової поверхні оптичного конектора, отриманої з допомогою відеомікроскопа з підключенням до комп'ютера

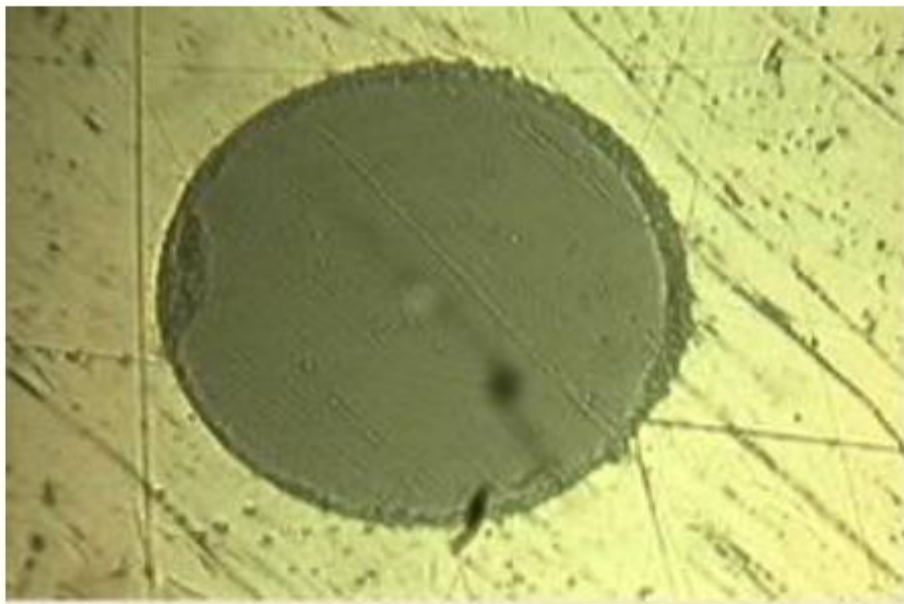


Рисунок 2.3 – Збільшене зображення поверхні оптичного конектора

2.2 Оцінювання втрат методом зворотного розсіювання

Для вимірювання втрат оптичної потужності у місцях роз'ємних з'єднань, може використовуватись метод зворотного розсіювання, в основі якого аналіз сигналів зворотного розсіювання і відбиття, які виникають при поширенні зондуючого імпульсного сигналу по оптичному волокну.

Під час поширення у оптичному волокну зондуючий імпульсний сигнал розсіюється і поглинається на мікронеоднорідностях і у матеріалі оптичного волокна, а також заломлюється на границі розділу середовищ з різною оптичною щільністю та/або відбивається. При цьому формуються сигнали Френелівського відбиття і Релеївського розсіювання, які повертаються у зворотньому напрямку до рефлектометра і реєструються на чутливим фотоприймачем рефлектометра.

Релеївське розсіювання - це когерентне розсіювання оптичного сигналу у матеріалі серцевини оптичного волокна та на мікронеоднорідностях або релеївських центрах, розміри яких суттєво менші за довжину хвилі оптичного випромінювання (рисунок 2.4). Внаслідок зміни показника заломлення ці розсіювання виникають через флуктуації складу матеріалу і густини серцевини волокна, які виникають під час виготовлення. Саме Релеївське розсіювання є нижньою теоретичною межею загасання оптичного сигналу та складає 0,012 дБ на довжині хвилі 1,55 мкм, 0,24 дБ на довжині хвилі 1300 нм та 2,5 дБ на довжині хвилі 0,82 мкм.

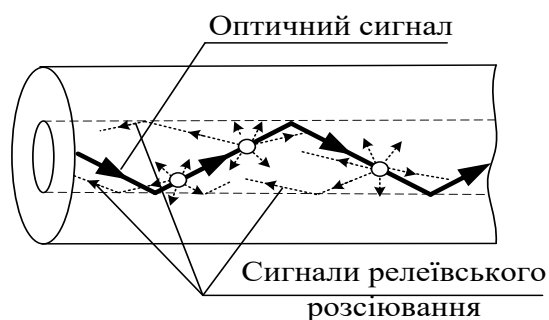


Рисунок 2.4 - Релеївське розсіювання

Поширюючись у оптичному волокні оптичний сигнал зазнає не тільки розсіювання, а також відбиття від межі поділу середовищ із різними значеннями показників заломлення або різною оптичною щільністю (рисунк 2.5). Це відбувається, якщо кут падіння оптичного сигналу на границю розділу середовищ з відмінними показниками заломлення менший від критичного кута повного внутрішнього відбиття. В результаті частина потужності оптичного випромінювання відбивається назад і повертається у напрямку рефлектометра, а інша частина продовжує поширюватись у заданому напрямку. Це Френелівське відбиття, що супроводжується також втратами оптичної потужності. На основі Френелівського відбиття можна встановити місце знаходження роз'ємних з'єднань, а також місця обриву волокон та/або закінчення лінії.

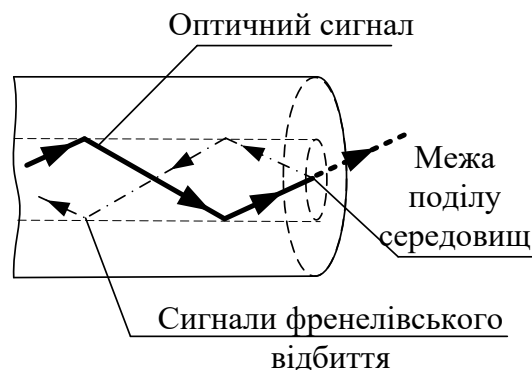


Рисунок 2.5 - Френелівське відбиття

Рефлектограма - графічна залежність розподілу втрат оптичної потужності в залежності від довжини оптичної лінії (рисунк 2.5).. Вона формується на основі даних про час надходження і потужність зворотних сигналів.

Початок рефлектограми має вигляд пікового сплеску і називається мертвою зоною рефлектограми. Мертва зона зумовлена перенавантаження фотоприймача рефлектометра в результаті відбиття частини потужності випроміненого імпульсу від вхідного роз'ємного з'єднання, що слугує для підключення рефлектометра до оптичної лінії. Мертва зони орієнтовно складає декільком десяткам метрів. Тому для аналізу початку лінії використовуються

компенсатор мертвої зони – це оптичне , довжиною щонайменше сто метрів із роз’ємними з’єднаннями на його кінцях. Такий компенсатор відіграє функцію еквіваленту оптичного волокна, який дозволяє коректно аналізувати всю оптичну лінію від початку до кінця , оскільки усуває мертву зону на початку лінії.

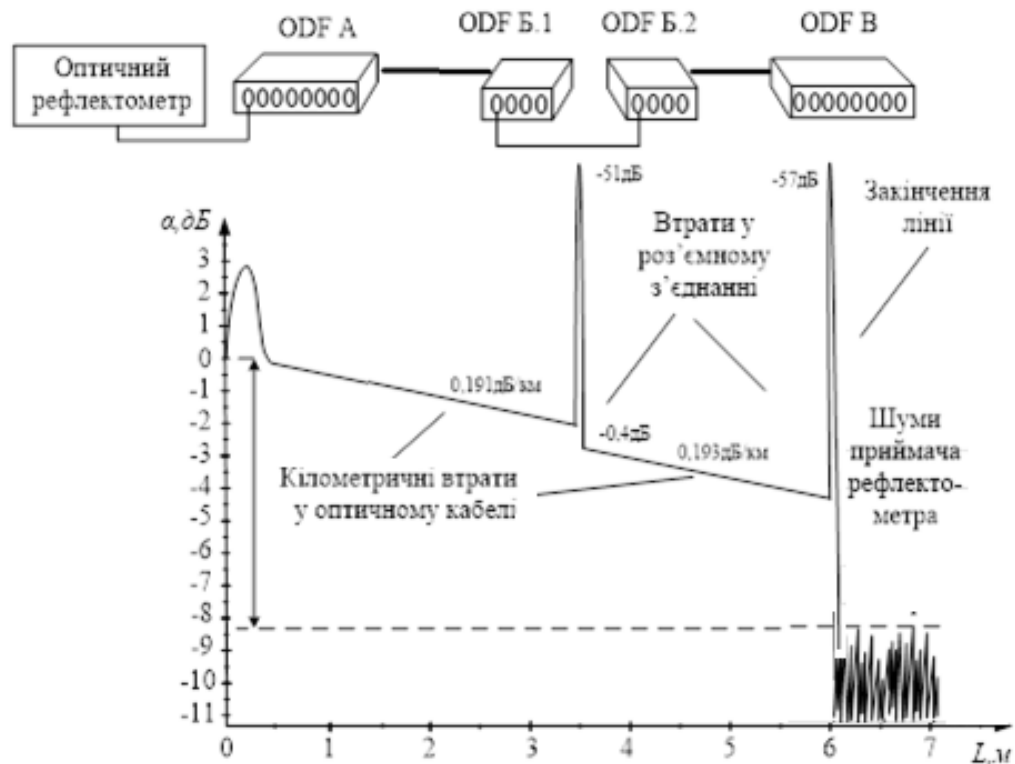


Рисунок 2.6 – Рефлектограма із відповідним подіями у місцях роз’ємних з’єднань оптичних волокон

Роз’ємні з’єднання оптичного волокна характеризуються одночасно втратами поглинання і на відбиття, а на рефлектограмі виглядають як стрімкі піки із пониженням відносно загального рівня рефлектограми (рисунок 2.6).

На рефлектограмі поруч з кожним піком, що відповідає певному роз’ємному з’єднанню, вказується значення коефіцієнта відбиття, а також втрати у децибелах, які розраховуються рефлектометром автоматично.

На рефлектограмі закінчення оптичної лінії має вигляд вузького піку із стрімким пониженням до шумів фотоприймача рефлектометра. Зазвичай на

рефлектограмі у місці закінчення оптичної лінії вказується відбиття (якщо воно має місце) і довжина лінії.

2.3 Огляд сучасних оптичних імпульсних рефлектометрів OTDR

Для вимірювання параметрів ВОЛЗ найбільше використовуються імпульсні рефлектометр Optical Time Domain Reflectometer (OTDR). З допомогою оптичного імпульсного рефлектометра (далі рефлектометр) встановлюються місця знаходження пошкоджень і дефектних ділянок оптичних волокон, визначається розподіл втрат оптичної потужності вздовж, вимірюється оптична довжина лінії і відстані між подіями (неоднорідностями), визначаються втрати на відбиття і втрати загасання у нероз'ємних і роз'ємних з'єднаннях тощо [7].

Для підвищення точності визначення втрат у місцях з'єднання оптичних волокон виконуються вимірювання з двох сторін, та дійсне значення загасання в місці з'єднання оптичних волокон вираховується як середнє значення, отриманих з обох сторін. Зумовлено це тим, що на рефлектограмі у деяких випадках можливі плюсові «стрибки» в місцях з'єднання оптичних волокон із-за відхилень їх геометричних і оптичних параметрів [3]. Отримані значення загасання у місці з'єднання оптичного волокна заносяться у паспорт муфти. Всі протоколи вимірювання і паспорта, підготовлені під час будівельно-монтажних робіт, додаються до паспортної (виконавчої) документації та під час приймально-здавальних робіт передаються організації з обслуговування чи експлуатації нової оптичної лінії зв'язку [3].

На різних етапах експлуатації оптичних ліній зв'язку виконуються планові та періодичні вимірювання оптичних волокон з метою діагностування їх оптичних параметрів. Прогнозується, що з часом оптичні волокна можуть мати деградацію під дією хімічних та/або механічних впливів, які погіршують параметри лінії в цілому. Зокрема, при контакті оптичних волокон з водою чи іншими хімічними речовинами, що можуть накопичуватись у середи-

ні оптичних муфт чи проникати в оптичний кабель, відбувається так зване «помутніння» оптичних волокон. Під дією натягнення та/або поперечних механічних навантажень в оптичному кабелі може виникати деформація оптичних волокон та утворюватися мікротріщини. Для аналізу натягів та механічної оптичних волокон використовуються спеціальні бриллюєнівські рефлектометри [1].

Розглянуті вище, а також ряд інших негативних впливів, призводять до збільшення загасання оптичного сигналу у волокні та/або виведення із ладу оптичної лінії в цілому. Періодично один або декілька разів на рік під час експлуатації здійснюється контрольні вимірювання таких оптичних параметрів оптичних волокон, як загасання у роз'ємних з'єднаннях оптичного волокна кінцевих пристроїв та пристроїв комутації оптичних волокон тощо.

Основним параметром оптичного рефлектометра є динамічний діапазон. Згідно з рекомендаціями МЕК (ІЕС) динамічний діапазон рефлектометра визначається як різниця між піковим значенням власних шумів фотоприймача за відсутності сигналу та рівнем зворотного релеївського розсіювання на початку рефлектограми. Іншими словами, динамічний діапазон рефлектометра опосередковано визначає довжину оптичного волокна, яку можна виміряти рефлектометром. Діапазон вимірюється у дБ, при цьому чим більше значення діапазону, тим більшу довжину оптичної лінії можна виміряти рефлектометром. Нарешті динамічний діапазон залежить від тривалості зондуючого імпульсу і його потужності, чутливості фотоприймача (щоб забезпечити вимірювання доволі слабких сигналів зворотного розсіювання, що надходить з дуального кінця ВОЛЗ), довжини хвилі, часу усереднення (збільшення часу усереднення забезпечує зменшення шумів) тощо [2].

Тому необхідно встановити коректні параметри вимірювання:

- значення показника заломлення n ;
- вимірювальна довжина хвилі λ , нм;
- максимальний діапазон вимірювання довжини лінії $L_{\max}$, км;
- число усереднень, N_{av} ;

- тривалість вимірювального імпульсу T_p , нм або мкм;
- роздільна здатність dL .
- порогові значення вимірювальних величин;
- відстань L_2 від початку оптичного волокна до кінця ділянки, км;
- відстань L_1 від початку оптичного волокна до початку ділянки , км

Є два основних режими вимірювання оптичним рефлектометром: без усереднення та з усередненням. Режим без усереднення використовується, коли необхідно попередньо оцінити параметри оптичного волокна, оперативно ідентифікувати волокно, тощо. Зокрема, цей режим використовується у аварійних ситуаціях під час пошуку пошкодження оптичної лінії зв'язку.

Для отримання більш точної інформації використовується усереднення. Результати вимірювання усереднюються у відповідності з параметром усереднення N_{av} , що відображається на відносній шкалі часу вимірювання. Коли параметр N_{av} досягає значення, встановленого оператором, то процес вимірювання закінчується.

На моніторі рефлектометра загорається знак лазерного випромінювання одночасно з початком процесу вимірювання. Це означає, що існує небезпека пошкодження сітківки ока невидимим для людського зору оптичним випромінюванням. Забороняється виконувати під'єднання чи від'єднання рефлектометра до оптичних волокон під час процесу вимірювання і працює лазер.

Спеціальне програмне забезпечення використовується для роботи з рефлектограмами. З допомогою нього програмного забезпечення можна в «ручному» режимі більш точно проаналізувати втрати у неоднорідностях оптичної лінії зв'язку. Програмним забезпеченням може використовуватись окремо, без під'єднання рефлектометра.

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

На рисунку 2.7 наведено оптичні рефлектометри ОР 2-2 і ОР-2-3 що, дозволяють виконувати вимірювання довжини оптичного волокна і відстані до місця пошкодження оптичної лінії, вимірювання загасання в волокнах і у мі-

сцях їх з'єднання,. Рефлектометри ОР-2-3 і ОР 2-2 складаються з базового блоку, оптичних модулів, які можуть мати до декількох довжин хвиль вимірювання, змінних оптичних блоків для вимірювання багатомодових та/або одномодових оптичних волокон, а також п'ять модифікацій з різними динамічним діапазонами від 28 дБ до 43 дБ. Обробка та збереження результатів вимірювання, керування роботою рефлектометра, відображення рефлектограм здійснюються з допомогою комп'ютера або Notebook. Через послідовний порт RS-232 здійснюється зв'язок між рефлектометром і комп'ютером [6].



Рисунок 2.7 – Оптичний рефлектометр ОР-2-2(3);

Для тестування та оперативного пошуку пошкоджень у мережах доступу (FTTx) і пасивних оптичних мереж (PON) використовуються компактні оптичні рефлектометри. Наприклад, оптичний імпульсний рефлектометр AXS-110 виробництва відомого канадського виробника EXFO (рисунок 2.8) призначений для тестування як багатомодових так і одномодових оптичних волокон на довжинах хвиль 0,850, 1,31 та 1,55 мкм з динамічним діапазоном від 24 до 32 дБ відповідно. Прилад може комплектуватись портом для тестування на довжині хвилі 1.625 мкм і фільтром активних хвиль (1,31, 1,49 і 1,55 мкм), що дозволяють вимірювати у робочій мережі, не вимикаючи абонентів. Також з допомогою рефлектометра AXS-110 успішно можна виконувати тестування мереж які є пасивними із оптичними розгалужувачами та значною

кількістю портів (до 32). Підключення через USB 2.0 дозволяє передавати дані на комп'ютер для подальшого формування звітів і аналізу рефлекторам [7].



Рисунок 2.8 – Оптичний рефлектометр EXFO AXS-110;

Комплексні вимірювання на етапах будівництва і експлуатації волоконно-оптичних ліній та мереж зв'язку як на фізичному так і на транспортному рівнях забезпечують оптичні вимірювальні платформи. Базова платформа може комплектуватись оптичним рефлектометром, оптичним аналізатором спектру, вимірювачами поляризаційно-модової дисперсії (PMD) і хроматичної дисперсії (CD). На рисунку 2.4, в наведено MTS-8000 - це універсальна вимірювальну платформа, розроблену корпорацією JDSU (Acterna). У корпус платформи інтегрувався вимірювач потужності оптичного випромінювання (0,8-1.650 мкм), Visual Fault Locator (0,635 мкм) джерело видимого випромінювання для пошуку обривів у оптичній лінії, відеомікроскоп, оптичний телефон тощо.



Рисунок 2.9 – Оптичний рефлектометр JDSU MTS 8000

2.4 Висновки до розділу

Розглянуті методи і відповідні засоби оцінки якості роз'ємних з'єднань є доступними і обов'язковими у забезпеченні сучасних монтажно-вимірювальних лабораторіях, тому можуть використовуватись для тестування та/або вимірювання втрат у оптичних конекторах та адаптерах на всіх етапах як експлуатації так і будівництва волоконно-оптичних ліній зв'язку.

З ДОСЛІДЖЕННЯ ВТРАТ У РОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАННЯХ З'ЄДНАННЯХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ

3.1 Етапи експериментальних досліджень

Для дослідження якості роз'ємних з'єднань використаємо стенд оптичної лінії зв'язку, який наявний у лабораторії кафедри інформаційних радіоелектронних систем та технологій. Одним із основних конструктивних елементів на стенді волоконно-оптичної лінії зв'язку на лабораторному стенді є оптичні панелі або кінцеві пристрої з оптичними конекторами типу SC і FC (рисунок 3.1)



Рисунок 3.1 – Стенд волоконно-оптичної лінії зв'язку із оптичний кінцеві пристроями або панелями панелі А та Б

На наявному стенді оцінювання якості роз'ємних з'єднань може бути виконана в декілька етапів. На першому етапі з допомогою відеомікроскопу EXFO виконується візуальне спостереження за торцевими поверхнями

роз'ємних з'єднань, а на другому етапі виконується безпосереднє вимірювання втрат у цих з'єднаннях з допомогою оптичний рефлектометр Acterna JDSU 8000, Розглянемо ці етапи більш детально.

3.2 Попереднє оцінювання роз'ємних з'єднань

У попередньому розділі даної роботи встановлено, що для візуального оцінювання роз'ємних з'єднань можна використовувати сучасні відеомікроскопи, які обладнані спеціальними моніторами та відповідними цифровими камерами, що відображають інформацію про стан поверхні конектора. Це дозволяє візуально контролювати якісний стан поверхні конекторів та аналізувати інформацію про параметри ОВ.

На рисунку 2.3 зображено процес оцінювання якості оптичних конекторів типу FC та SC, що встановлені відповідно на оптичних панелях кінцевих пристроїв А та Б лабораторного стенду волоконно-оптичної лінії зв'язку.

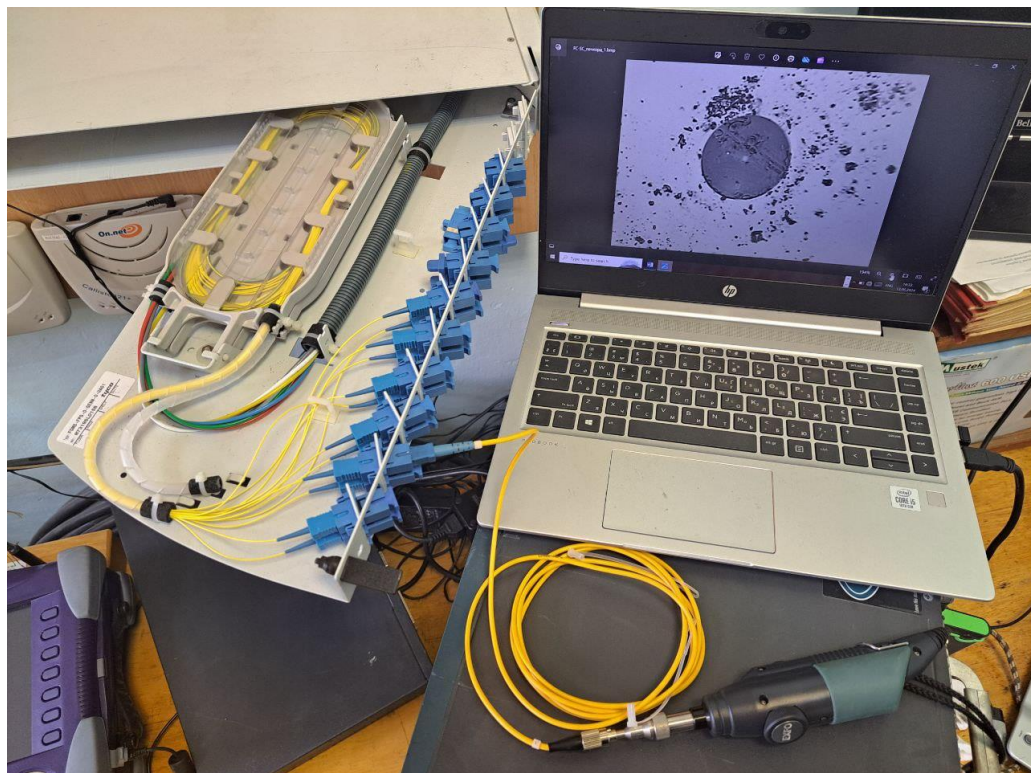


Рисунок 3.2 Відеомікроскоп EXFO з підключенням до ПК

Проведемо оцінювання та порівняння якості роз'ємних з'єднань конектору №1 FC і конектору №2 SC, які встановленні відповідно на оптичних панелях А та Б.

На рисунку 3.3, *а* наведено збільшене зображення якісної та відполірованої торцевої поверхні конектора роз'ємного з'єднання №1 FC, отриманих з допомогою відеомікроскопу EXFO [6]. Натомість на рисунку 3.3, *б* результати візуального оцінювання оптичного конектора №2 SC, на торцевих поверхнях якого чітко можна спостерігати залишки бруду та пилу різного розміру та походження.

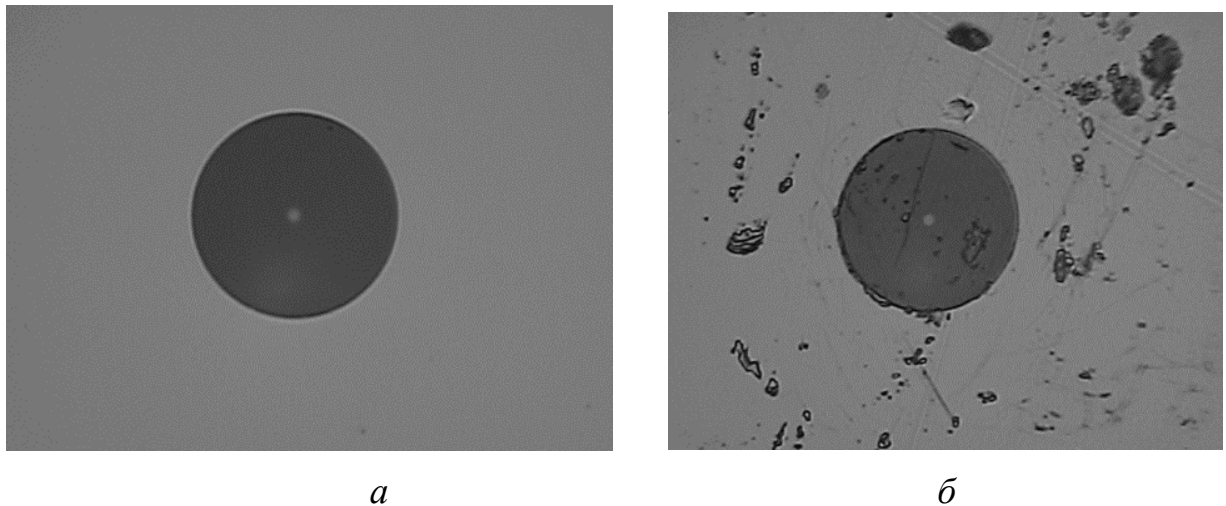


Рисунок. 3.3 – Попереднє оцінювання торцевих поверхонь конекторів:

а – якісна торцева поверхня;

б – пошкоджена та/або забруднена торцева поверхня

У випадку другого конектора може виникати нещільний контакт і збільшення повітряного зазору між оптичними волокнами у місці контакту. При цьому виникає так званої область «не прозорості», яка може спричиняти нагрівання роз'ємних з'єднань та фізико-хімічної деформація у місці контакту під час проходження потужного оптичного сигналу.

Наявність та/або відсутність забруднення та/або пошкоджень на торцевих поверхнях конекторів зафіксовано у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 Результати I етапу оцінювання роз’ємних з’єднань (відеомікроскоп)

№ РЗ	Тип ОВ	Назва роз’ємного з’єднання	Конектор 1		Конектор 2	
			наявність забруднення	наявність пошкодження	наявність забруднення	наявність пошкодження
1	SM	FC-PC	ні	ні	так	так
2	SM	IC-PC	ні	ні	ні	ні

3.3 Вимірювання втрат у роз’ємних з’єднаннях

Для вимірювання втрат у роз’ємних з’єднаннях на стенді до волоконно-оптичної лінії зв’язку з допомогою подовженого патчкорда із компенсатором мертвої зони під’єднаємо рефлектометр до відповідних конекторів на оптичних панелях (рисунок 3.4).

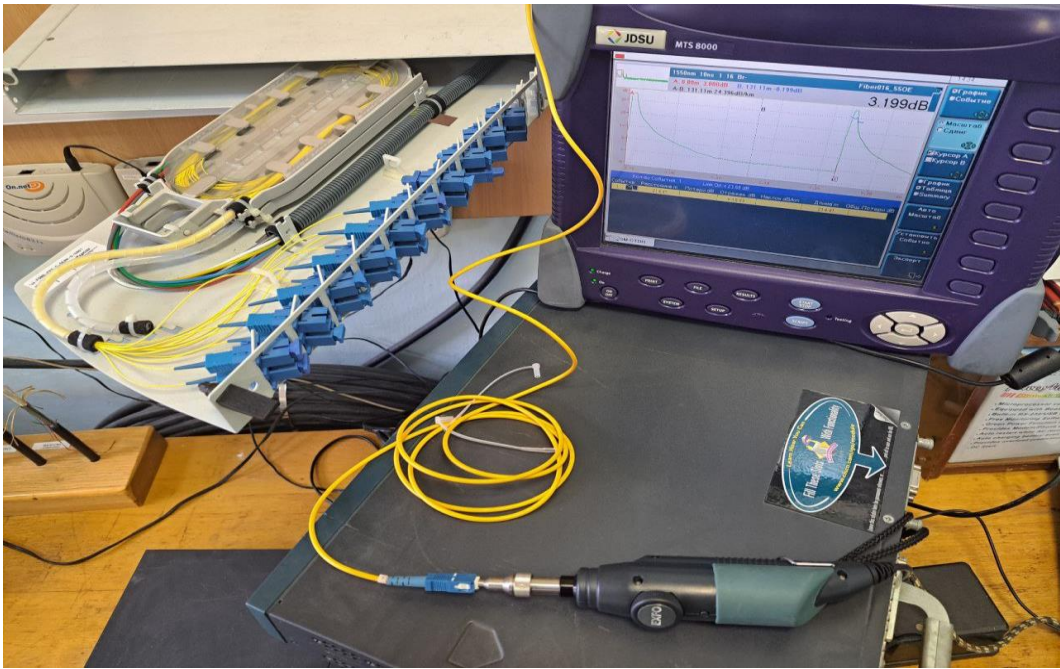


Рисунок 3.4 Вимірювання втрат з допомогою OTDR Acterna JDSU - 8000

Встановимо основні параметри вимірювання:

- довжини хвиль вимірювання **1,31 мкм** та 1,55 мкм;
- значення показника заломлення оптичного волокна;
- тривалість імпульсу вимірювання 10нс;
- час усереднення 60с;
- діапазон вимірювання довжини лінії 1 км;

Для покращення точності, вимірювання оптичних волокон виконуються на двох довжинах хвиль 1.55 мкм і 1.31 мкм [3]. Отримані рефлектограми можуть бути проаналізовані безпосередньо на рефлектометрі, а також з допомогою персонального комп'ютера із відповідним програмним забезпеченням.

Для визначення втрат у місці роз'ємного з'єднання оптичного волокна використаємо метод п'яти точок (рисунок 3.3) [6].

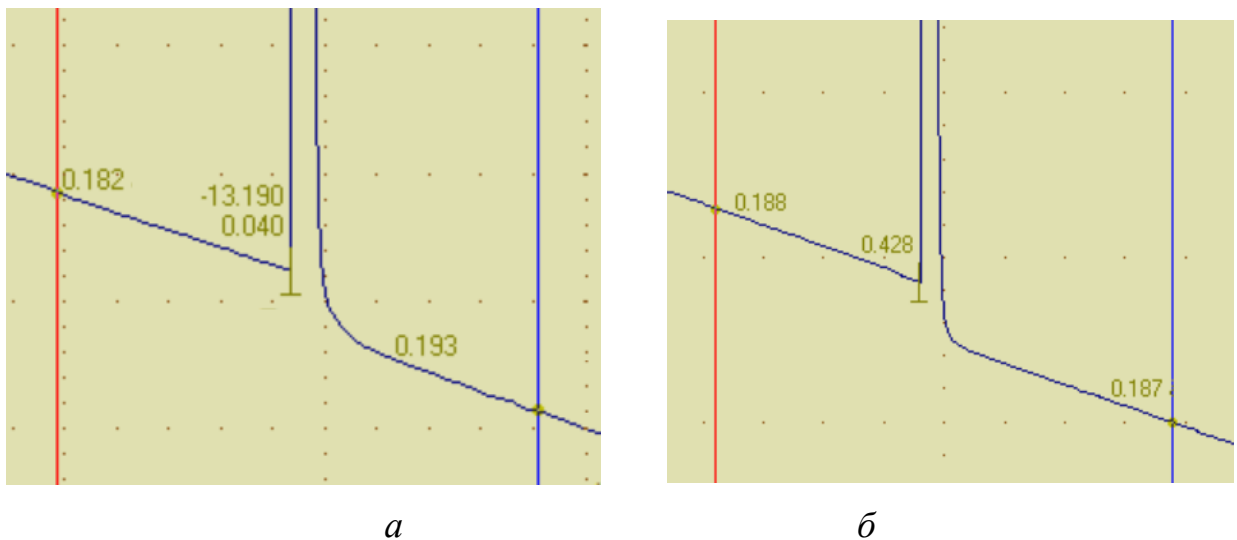


Рисунок 3.5 – Рефлектограми із значеннями згасання загасання у місцях роз'ємних з'єднань оптичного волокна :

a – в межах норми ; *б* – завищене

На рефлектограмі місця з'єднання позначаються вертикальними маркерними стовпчиками. На рисунку 3.4, *a* у роз'ємному з'єднанні оптичного волокна

№1 можна спостерігати мінімальне значення вимірюваних рефлектометром втрат, які складають 0,04дБ, а для роз'ємного з'єднання оптичного волокна №2 втрати перевищують норму і складають 0,428дБ (рисунку 3.5, б). Результати вимірювання занесемо до таблиці 3.2

Таблиця 3.2 Результати II етапу вимірювання втрат роз'ємних з'єднань

№ О В	Колір ОВ	$A_{зр\ A-}$ Б,дБ	$A_{зр\ B-}$ А,дБ	$A_{зр\ ср, дБ}$	$A_{зр\ A-}$ Б,дБ	$A_{зр\ B-}$ А,дБ	$A_{зр\ ср, дБ}$
		$\lambda=1310н$ м	$\lambda=1310н$ м	$\lambda=1310н$ м	$\lambda=1550н$ м	$\lambda=1550н$ м	$\lambda=1550н$ м
1	черво- ний	0,04	0,05	0,045	0,04	0,04	0,04
2	зелений	0,421	0,432	0,340	0,412	0,428	0,320

(OTDR)

Порівнюючи результати оцінювання роз'ємних з'єднань оптичного волокна №1 та оптичного волокна №2 на першому та другому етапах дослідження прослідковується відповідність між якісно торцевих поверхонь оптичних конекторів та відповідними значенням загасання у цих з'єднаннях виміряні оптичним рефлектометром.

Отже, якість роз'ємних з'єднань погіршується із-за забрудненої та/або пошкодженої поверхні конекторів роз'ємного з'єднання, що виникають в результаті багаторазового пере використання роз'ємних з'єднань.

3.4 Висновки до розділу

За результатами досліджень сформулюємо наступні рекомендації щодо забезпечення якості роз'ємних з'єднань під час експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку:

1. Основними чинниками погіршення якості роз'ємних з'єднань є порушення механічних конструктивних характеристик та забруднення поверхні ферули конекторів.
2. Періодичні профілактичні роботи по перевірці якості роз'ємних з'єднань необхідно виконуватиме не менші ніж один раз на рік.

4 ЕКОНОМІЧН 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 роз'ємних з'єднань під час 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.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

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 роз'ємних з'єднань під час 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	59	58	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 (ПІБ, 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	69	72	68
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

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

Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	69,7		

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 [23]

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

де $k_{\text{нов}}$, $k_{\text{теор}}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{\text{нов}} = 58,7$, $k_{\text{теор}} = 69,7$ балів;

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

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 58,7 + 0,4 \cdot 69,67 = 63,07 \text{ балів.}$$

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 роз'ємних з'єднань під час експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку», даний рівень становить 63,07 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 роз'ємних з'єднань під час 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 [23]

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

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.

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

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	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 роз'ємних з'єднань під час 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), приймемо $M_M=8000,00$ грн; K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [23]; 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;

$$C_1 = 8000,00 \cdot 1,10 \cdot 1,15 / (24 \cdot 8) = 52,71 \text{ грн}; \quad 3_{p1} = 52,71 \cdot 6,00 = 316,25 \text{ (грн.)}.$$

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	6,00	2	1,10	52,71	316,25
Інсталяція програмного забезпечення	4,30	3	1,35	64,69	278,16
Налагодження засобів системи оцінювання якості	7,30	5	1,70	81,46	594,65
Відлагодження інтерполяційних модулів	3,50	5	1,70	81,46	285,10
Формування цифрової експериментальної моделі оцінювання якості	6,50	4	1,50	71,88	467,19

Продовження таблиці 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Формування структурної схеми взаємозв'язків компонентів системи	5,35	5	1,70	81,46	435,80
Тренування системи	6,00	4	1,50	71,88	431,25
Підбір характеристик компонентів системи	4,00	3	1,35	64,69	258,75
Випробування системи	3,50	2	1,10	52,71	184,48
Всього					3251,63

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

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

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

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{доп}} = (35650,52 + 3251,63) \cdot 10 / 100\% = 3890,21 \text{ (грн.)}.$$

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

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

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

$$Зн = (35650,52 + 3251,63 + 3890,21) \cdot 22 / 100\% = 9414,32 \text{ (грн.)}$$

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 роз'ємних з'єднань під час 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

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

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; $C_{\epsilon j}$ – вартість відходів j -го найменування, (грн/кг.).

$$M_1 = 3,0 \cdot 212,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 699,60 \text{ (грн.)}$$

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 білий (80%, 80 г/м)	212,00	3,0	0	0	699,60
Диск оптичний (CD-R)	28,00	4,0	0	0	123,20
Органайзер офісний BIC-15AX-2	196,00	3,0	0	0	646,80
Канцелярське приладдя	210,00	3,0	0	0	693,00
Картридж змінний EPSON STYLUS	1045,00	1,0	0	0	1149,50
USB-FLASH-пам'ять 64 Gb	229,00	1,0	0	0	251,90
Папір для заміток А5 (65 г/м)	112,00	5,0	0	0	616,00
Тека для паперів	65,00	4,0	0	0	286,00
Пігтейли з оптичними конекторами та адаптерами типу FC	56,00	8,0	0	0	492,80
Пігтейли з оптичними конекторами та адаптерами типу SC	45,00	8,0	0	0	396,00
Пігтейли з оптичними конекторами та адаптерами типу E-2000	76,00	8,0	0	0	668,80
Всього					6023,60

4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Методи і засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань під час 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, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_6 = 1 \cdot 3650,00 \cdot 1,1 = 4015,00 \text{ (грн.)}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Волоконно-оптичні датчики (комплект)	1	3650,00	4015,00
Кабель інтерфейсний	2	1289,00	2835,80
Оптична панель FOMS-FPS-O-SNF1-24	1	230,00	253,00
Касета для викладання 24 ОВ	1	189,00	207,90
Всього			7311,70

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

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

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, (грн.); $C_{\text{пр.}i}$ – 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.

$$B_{\text{спец}} = 3280,00 \cdot 1 \cdot 1,1 = 3608,00 \text{ (грн.)}.$$

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
Комплект оптичних тестерів Acterna OMK-55	1	3280,00	3608,00
Адаптер голого волокна Multitest BF FC UPC	1	562,00	618,20
Інспекційний відеомікроскоп для оптичних конекторів EXFO FIP-430B	1	12480,00	13728,00
Засоби для очищення чищення оптичних роз'ємних з'єднань	1	245,00	269,50
Всього			18223,70

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) необ-

хідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

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

де C_{inpz} – 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.

$$B_{npz} = 9750,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 10237,50 \text{ (грн.)}$$

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
Програмно-математичне середовище розробки MatLab 20 Pro	1	9750,00	10237,50
програмне забезпечення ConnectorMax2 для аналізу поверхні оптичних конекторів на ПК	1	4859,00	5101,95
Всього			15339,45

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

$$A_{обл} = \frac{Ц_{\bar{o}}}{T_{\bar{e}}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де $Ц_{\bar{o}}$ – 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; $T_{\bar{e}}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (43199,00 \cdot 1) / (3 \cdot 12) = 1199,97 \text{ (грн.)}.$$

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	43199,00	3	1	1199,97
Робоче місце дослідника	25699,00	3	1	713,86
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	520000,00	30	1	1444,44
Оргтехніка офісна	6520,00	5	1	108,67
Всього				3878,89

4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою

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

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
Мікроскоп (оптико-електронний)	0,05	160,0	87,84
Система підсвітки (безтіньова)	0,08	100,0	87,84
Принтер EPSON STYLUS	0,25	2,3	6,31
Оргтехніка офісна	0,45	1,2	5,93
Всього			1189,30

4.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань під час 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

$$I_{\varepsilon} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{i\varepsilon}}{100\%}, \quad (4.13)$$

де $H_{i\varepsilon}$ – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{i\varepsilon} = 50\%$;

$$I_{\varepsilon} = (35650,52 + 3251,63) \cdot 50 / 100\% = 19451,07 \text{ (грн.)}.$$

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», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (35650,52 + 3251,63) \cdot 100 / 100\% = 38902,15 \text{ (грн.)}.$$

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

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

$$\begin{aligned} B_{заг} &= 35650,52 + 3251,63 + 3890,21 + 9414,32 + 6023,60 + 7311,70 + 18223,70 + \\ &15339,45 + 3878,89 + 1189,30 + 0,00 + 0,00 + 19451,07 + 38902,15 = \\ &= 162526,53 \text{ (грн.)}. \end{aligned}$$

Загальні витрати $3B$ на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою

$$3B = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (4.16)$$

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

$$3B = 162526,53 / 0,95 = 171080,56 \text{ (грн.)}.$$

4.3 Оцінювання важливості та наукової 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 роз'ємних з'єднань під час 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 $I=4$; 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 $B=171080,56$ 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 [23].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^3 \cdot 2 \cdot 4 / 171,1 \cdot 0,08 = 35,91.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Методи і засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань під час 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 роз'ємних з'єднань під час експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку» складають 171080,56 грн. Відповідно до

проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань під час 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 роз'ємних з'єднань під час експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Результати роботи продемонстрували, що у роз'ємних з'єднаннях втрати опитного сигналу виникають під час експлуатації із-за механічного поперечного та/або осьового зміщення конекторів одини відносно одного у адаптері, забруднення оптичних конекторів, а також з-за відхиленням оптичних і геометричних параметрів з'єднувальних оптичних волокон. В результаті таких з'єднань значна частина оптичної потужності розсіюється або виходить за його межі.

Для оцінки якості роз'ємних з'єднань запропоновано вдосконалену методику, яка включає як візуальне спостереження за торцевими поверхнями конекторів роз'ємних з'єднань з допомогою відеомікроскопу, так і безпосереднє вимірюванням втрат у цих з'єднаннях оптичним рефлектометром, і враховує вплив особливостей експлуатації на механічні та оптичні зміни у оптичних конекторах, і дає можливість зменшити втрат оптичної потужності у роз'ємних з'єднань.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що сформульовані рекомендації, які можуть використовуватись під час експлуатації кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку для забезпечення мінімальних втрат у оптичних конекторах кінцевих пристроїв кабельних ліній зв'язку з допомогою запропонованої методики оцінювання якості роз'ємних з'єднань..

У розділі економічної частини проведеного аналіз та виконано розрахунок наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи, встановлено середній рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність 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., Вікторовська 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. –

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 РОЗ'ЄМНИХ З'ЄДНАНЬ ПІД ЧАС 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)

Якименко О.А.

(прізвище та ініціали)

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

Онищук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 12 »

12

2024 р.

Вінниця ВНТУ - 2024 рік

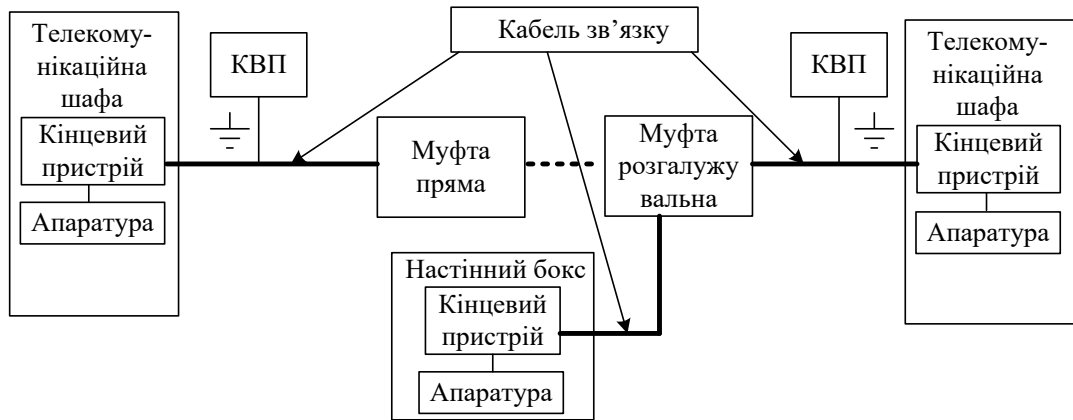


Рисунок 1 – Структурна схема кабельної оптичної лінії зв'язку

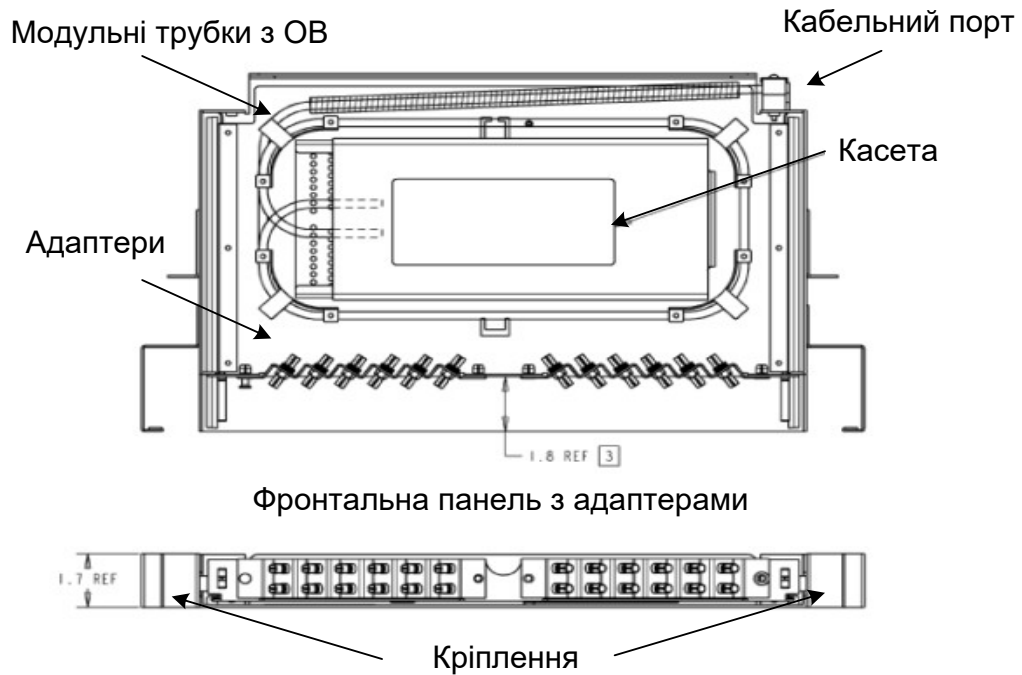


Рисунок 2 – Конструкція кінцевого пристрою (оптичної панелі)

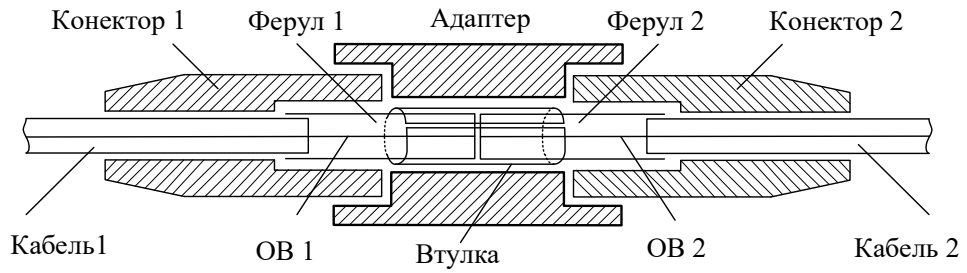


Рисунок 3 – Конструкція роз'ємного з'єднання

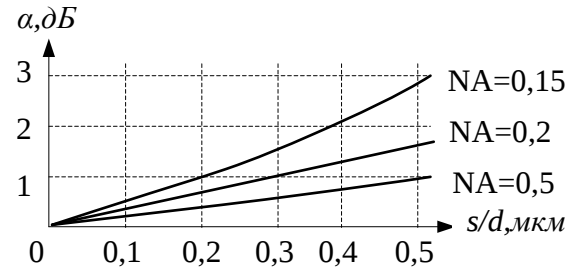
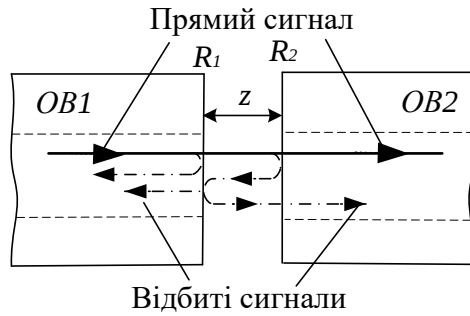


Рисунок 4 – Втрати у роз'ємному з'єднанні із-за повздовжнього зміщення

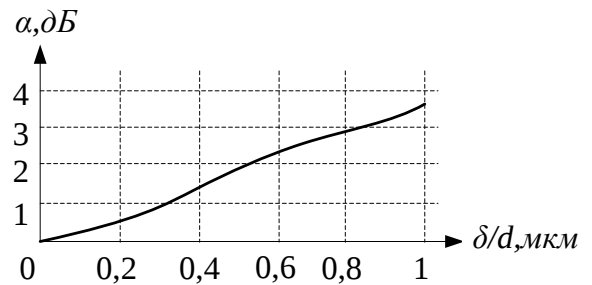
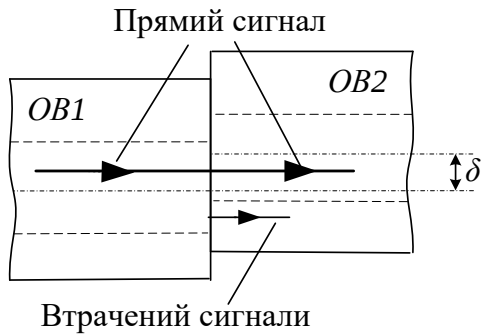


Рисунок 5 – Втрати у роз'ємному з'єднанні із-за поперечного зміщення

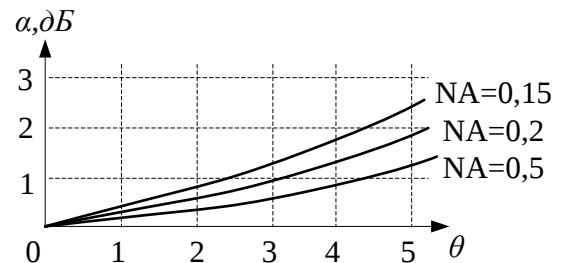
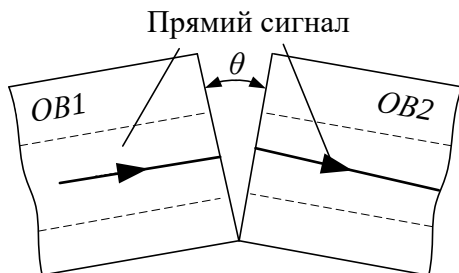


Рисунок 6 – Втрати у роз'ємному з'єднанні із-за кутового зміщення

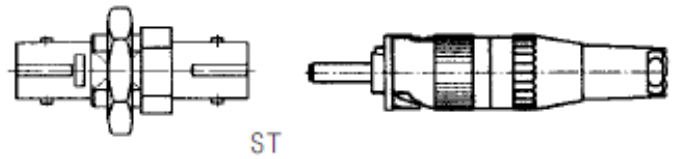


Рисунок 7 – Роз'ємні з'єднання типу ST виробництва American Telephone & Telegraph (США)

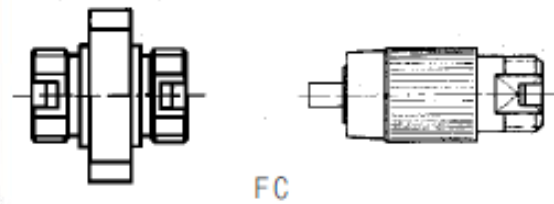


Рисунок 8 – Роз'ємні з'єднання типу FC виробництва Nippon Telephone & Telegraph (Японія)

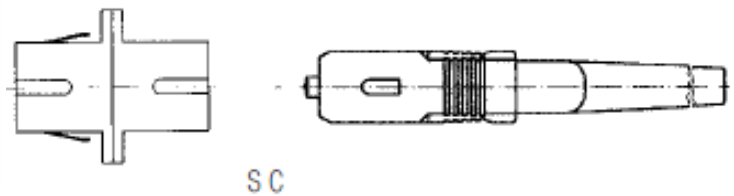
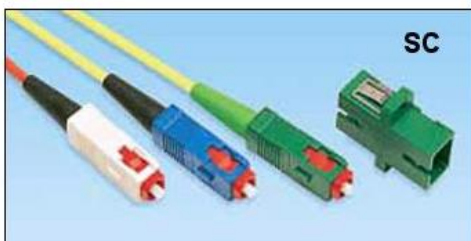


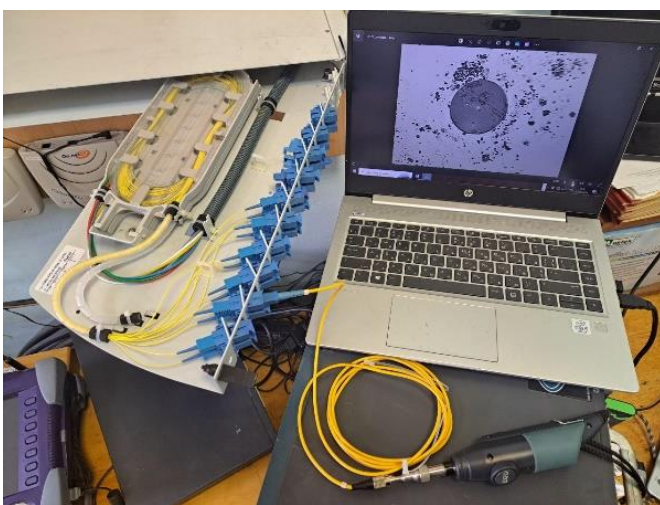
Рисунок 9 – Роз'ємні з'єднання типу SC виробництва NEC (Японія)

Таблиця 1. Характеристики оптичних роз'ємів FC,SC,ST

Тип		FC	SC		ST	
		FC/PC	SC MM	SC SM	ST MM	ST SM
Фізичні характеристики						
Тип з'єднання (фіксація)		Різьбове M8x0,75, замок	Засувка з фіксатором (дизайн push-pull)		Байонетна фіксація зі замком	
З'єднання		Заокруглена, фізичний контакт, плаваючий кінцевич, конструкція без втягнення кабелю			Заокруглена, фізичний контакт, підпружинення	
Сумісне волокно		SMF: D/125 мкм	MMF: 50/125; 62.5/125 мкм	SMF: D/125 мкм	MMF: 50/125; 62.5/125 мкм	SMF: D/125 мкм
Оптичні характеристики						
Втрати що вносяться	FLAT	< 1.0 дБ	-	-	-	-
	PC	< 0,5 дБ	< 0,25 дБ	< 0,5 дБ	< 0,7 дБ	< 1.0 дБ
	SPC	< 0,5 дБ	< 0,25 дБ	< 0,5 дБ	-	< 0,7 дБ
	UPC	< 0,5 дБ	-	< 0,5 дБ	-	< 0,7 дБ
	APC	< 0,5 дБ	-	< 0,5 дБ	-	-
Зворотні втрати	FLAT	-	-	-	-	-
	PC	< -27 дБ	< -22 дБ	< -27 дБ	-	< -30 дБ
	SPC	< -40 дБ	< -36 дБ	< -40 дБ	-	< -40 дБ
	UPC	< -50 дБ	-	< -50 дБ	-	< -50 дБ
	APC	< -60 дБ	-	< -60 дБ	-	-
ЛВС		-	+	+	+	+
Системи зв'язку		+	-	+	-	+
Кабельне телеб.		+	-	+	-	-



Рисунок 10 – Лабораторний стенд кабельної оптичної лінії зв'язку



а



б

Рисунок 11 – Оцінювання якості роз'ємних з'єднань у кінцевій оптичній панелі з допомогою: *а* – відеомікроскопом; *б* - рефлектометром

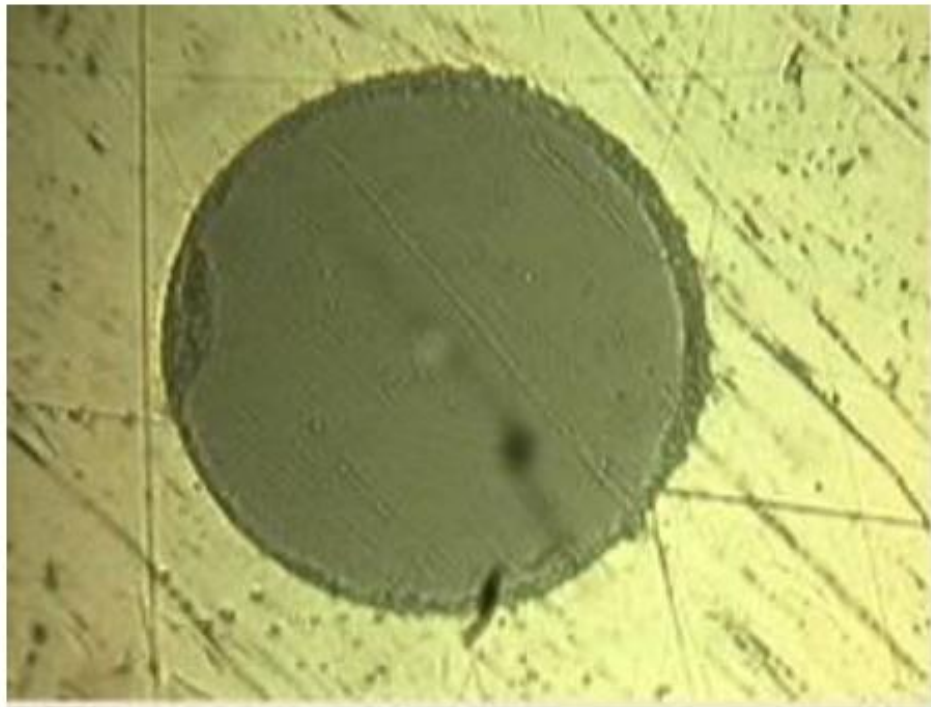
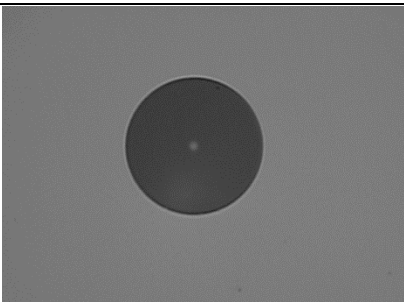
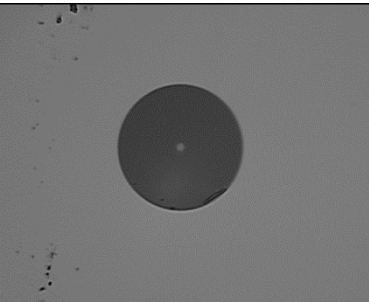
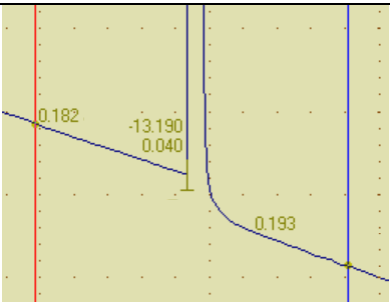
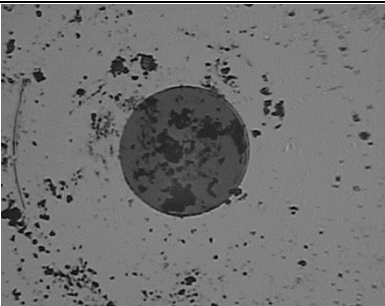
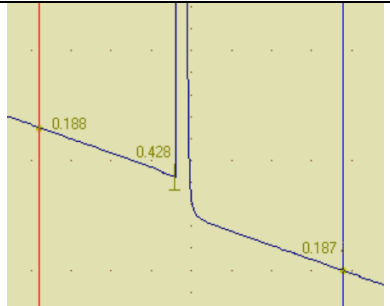


Рисунок 12 – Збільшене зображення поверхні оптичного конектора



Рисунок 13 – Рефлектограма роз'ємного з'єднання отримана методом зворотного розсіювання

Таблиця 2. Результати дослідження втрат у роз'ємних з'єднаннях

№	І етап (відеомікроскоп)		ІІ етап (OTDR)
1			
2			

Таблиця 3. Результати І етапу тестування роз'ємних з'єднань (відеомікроскоп)

№ РЗ	Тип ОВ	Назва роз'ємного з'єднання	Конектор 1		Конектор 2	
			забруднення	пошкодження	забруднення	пошкодження
1	SM	FC-PC	ні	ні	так	так
2	SM	FC-PC	ні	ні	ні	ні

Таблиця 4. Результати ІІ етапу вимірювання втрат роз'ємних з'єднань (реф-

№ ОВ	Колір ОВ	$A_{зр\ A-B, ДБ}$ $\lambda=1310нм$	$A_{зр\ B-A, ДБ}$ $\lambda=1310нм$	$A_{зр\ ср, ДБ}$ $\lambda=1310нм$	$A_{зр\ A-B, ДБ}$ $\lambda=1550нм$	$A_{зр\ B-A, ДБ}$ $\lambda=1550нм$	$A_{зр\ ср, ДБ}$ $\lambda=1550нм$
1	червоний	0,04	0,05	0,045	0,04	0,04	0,04
2	зелений	0,421	0,432	0,340	0,412	0,428	0,320

лектметр)

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ РОЗ'ЄМНИХ
З'ЄДНАНЬ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ КАБЕЛЬНИХ ВОЛОКОННО-
ОПТИЧНИХ ЛІНІЙ ЗВ'ЯЗКУ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Методи і засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань під час 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)

Олександр ЯКИМЕНКО
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Олег ОНИЩУК
(прізвище, ініціали)