

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 СТАНДАРТНИХ
ОДНОМОВНИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН НА ЕТАПІ ВХІДНОГО
КОНТРОЛЮ БУДІВЕЛЬНИХ ДОВЖИН ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ»**

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

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Куцурук В.В.
(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., проф., професор 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

Куцуруку Віталію Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Методи і засоби оцінювання якості стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю»
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 оптичних кабелів, їх конструктивні особливості та оптичні характеристики, розглянути існуючі методи оцінювання втрат оптичної потужності у стандартних одномодових волокнах, провести оцінку якості стандартних одномодових 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 стандартних одномодових оптичних волокон. Огляд методів та засобів оцінювання якості одномодових волокон. Розробка методики оцінювання втрат. Практичні дослідження. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): структура і профіль показника заломлення оптичного волокна; залежність коефіцієнта згасання від довжини хвилі та виду вікон прозорості; характеристики одномодових оптичних волокон; конструктивні елементи та паспорт на оптичний кабель FinMark LT24-SM-05; установка для вимірювання методом зворотного розсіювання; крива розсіяного у зворотному напрямку та/або відбитого випромінювання; структурна схема оптичного рефлектометра; етапи вимірювань та випробувань оптичних волокон; приклади рефлектограм отримані під час вхідного контролю та контролю після прокладання кабелю FinMark LT024-SM-05

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


(підпис)

Куцурук В.В.

Керівник роботи


(підпис)

Онищук О.В.

АНОТАЦІЯ

УДК 681.3:001.681

Куцурук В.В. Методи і засоби оцінювання якості стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю. – Вінниця: ВНТУ, 2024. – 95 с. На українській мові. Бібліогр.: 25 назв; Табл. 12; Рис. 21 .

У магістерській кваліфікаційній роботі обґрунтовано методику оцінювання якості стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин та після прокладання оптичного кабелю.. Досліджено основні аспекти, що призводять до появи розподілених по всій довжині оптичних волокон втрат, що зумовлені механічним навантаженнями на оптичний кабель.

Сформульовано практичні рекомендації щодо контролю якості стандартних одномодових волокон з допомогою сучасних засобів метрологічного контролю, які можуть використовуватись будівельно-монтажними організаціями та операторами зв'язку для підвищення надійності та зменшення втрат у кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Також у магістерській кваліфікаційній роботі виконані розрахунки економічної частини.

Ключові слова: одномодове оптичне волокно, втрати, загасання.

ABSTRACT

Kutsuruk V.V. Methods and means of assessing the quality of standard monolingual optical fibers at the stage of input control of construction lengths of optical cable. – Vinnytsia: VNTU, 2024. – 95 p. In Ukrainian. Bibliography: 25 titles; Table. 12; Fig. 21 .

The master's qualification work substantiates the methodology for assessing the quality of standard monolingual optical fibers at the stage of input control of construction lengths and after laying the optical cable. The main aspects that lead to the appearance of losses distributed along the entire length of optical fibers, which are caused by mechanical loads on the optical cable, are investigated.

Practical recommendations have been formulated for quality control of standard single-mode fibers using modern metrological control tools, which can be used by construction and installation organizations and communication operators to increase reliability and reduce losses in cable fiber-optic communication lines.

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

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

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН...	10
1.1 Оптичні волокна.....	10
1.2 Оптичні кабелі	15
1.3 Лінійно-кабельні споруди	21
1.4 Переваги і недоліки оптичний кабельних ліній зв'язку	27
1.5 Висновки до розділу	28
2 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ВТРАТ У СТАНДАРТНИХ ОДНОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКНАХ	30
2.1 Методом зворотного розсіювання.....	30
2.2 Оптичний імпульсний рефлектометр.....	35
2.3 Обробка результатів вимірювання	41
2.4 Методика дослідження якості оптичних волокон	44
2.5 Висновок до розділу.....	41
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН.....	50
3.1 Дослідження під час вхідного контролю.....	50
3.2 Дослідження після прокладання та монтажу	56
3.3 Висновок до розділу.....	59
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	60
4.1 Оцінювання наукового ефекту	60
4.2 Розрахунки витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	65
4.3 Оцінювання важливості і значимості науково-дослідної роботи	79
4.4 Висновок до розділу.....	80
ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина	85
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки роботи	94

ВСТУП

Актуальність теми.

Оптичні волокна вважаються найдосконалішою напрямною системою для передачі великих обсягів інформації на значні відстані. Найпоширенішими є стандартні одномодові оптичні волокна, серцевина яких виготовлена зі кварцового скла, що леговане мінімальними домішками склоформуєчих компонентів для зміни показника заломлення, а оболонка із кварцового скла. Такі оптичні волокна характеризуються високою пропускною здатністю та використовуються в якості напрямних систем в самих різноманітних телекомунікаційних технологіях.

Головним критерієм якості одномодових оптичних волокон вважається втрати потужності або загасання на один кілометр довжини волокна (кілометричне загасання). Особливо відчутною якість одномодових волокон проявляється на магістральних волоконно-оптичних лініях зв'язку сучасних транспортних телекомунікаційних мереж. При цьому кілометричні загасання оптичних волокон мають відповідати допустимі норми, обумовленим проектом та/або нормативними документами.

Тож питанню оцінювання якості стандартних одномодових оптичних волокон присвячена дана робота.

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 32К3 «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 дослідження втрат у волоконно-оптичних лініях зумовлених загасанням оптичного сигналу безпосередньо у оптичних волокнах з допомогою відповідних методів та засобів оцінювання якості на етапі вхідного контролю оптичного кабелю під час будівництва волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Об'єкт дослідження – методи і засоби оцінювання якості стандартних одномовних оптичних волокон кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Предмет дослідження – є втрати у кабельних волоконно-оптичних лініях зв'язку, обумовленні оптичними параметрами та механічними характеристиками стандартних одномовних оптичних волокон.

Задачі дослідження

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

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

2. Техніко-економічне обґрунтування доцільності виконання дослідження втрат у стандартних одномодових оптичних волокон під час виконання вхідного контролю та прокладання будівельних довжин оптичного кабелю.

3. Аналіз кілометричного загасання у стандартних одномодових оптичних волокон та з'ясування причини появи розподілених втрат оптичної потужності зумовленої механічними навантаженнями на оптичний кабель під час прокладання.

4. Дослідження втрат у волоконно-оптичних ліній зв'язку, отриманих в результатів вимірювання загасання оптичної потужності у стандартних одномодових оптичних волокнах з допомогою оптичного рефлектометра.

5. Розрахунки економічної частини.

Методи дослідження

Дослідження здійснене з використанням загальної теорії фізичної оптики та математичних чисельних методів розрахунку; теорії планування експерименту і комп'ютерного моделювання для перевірки отриманих результатів. Для оцінювання адекватності теоретичних побудов використовується натурний експеримент з наступною обробкою отриманих результатів статистичними методами.

Новизна одержаних результатів

Теоретичне значення отриманих результатів полягає в тому, що запропоновано ефективну методику оцінювання якості оптичних волокон, який включає оцінювання розподілених по всій довжині оптичного волокна втрат методом зворотного розсіювання і засобами оптичної рефлектометрії на різних етапах виконання будівельно-монтажних робіт.

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

Публікації

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

Обсяг і структура роботи

Магістерська кваліфікаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 12 таблиць, 21 рисунка та 25 літературних джерел.

1 АНАЛІЗ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

1.1 Оптичні волокна

Оптичне волокно представляє собою циліндричну багатошарову кварцову структуру, що складається з серцевини, оболонки та одного або декількох зовнішніх захисних покриттів (рис. 1.1, *a*).

Згідно з променевою теорією, розповсюдження оптичного випромінювання у серцевині оптичного волокна здійснюється завдяки ефекту повного внутрішнього віддзеркалення оптичного сигналу на границі розділу серцевини та оболонки, які відрізняються показниками заломлення [2].

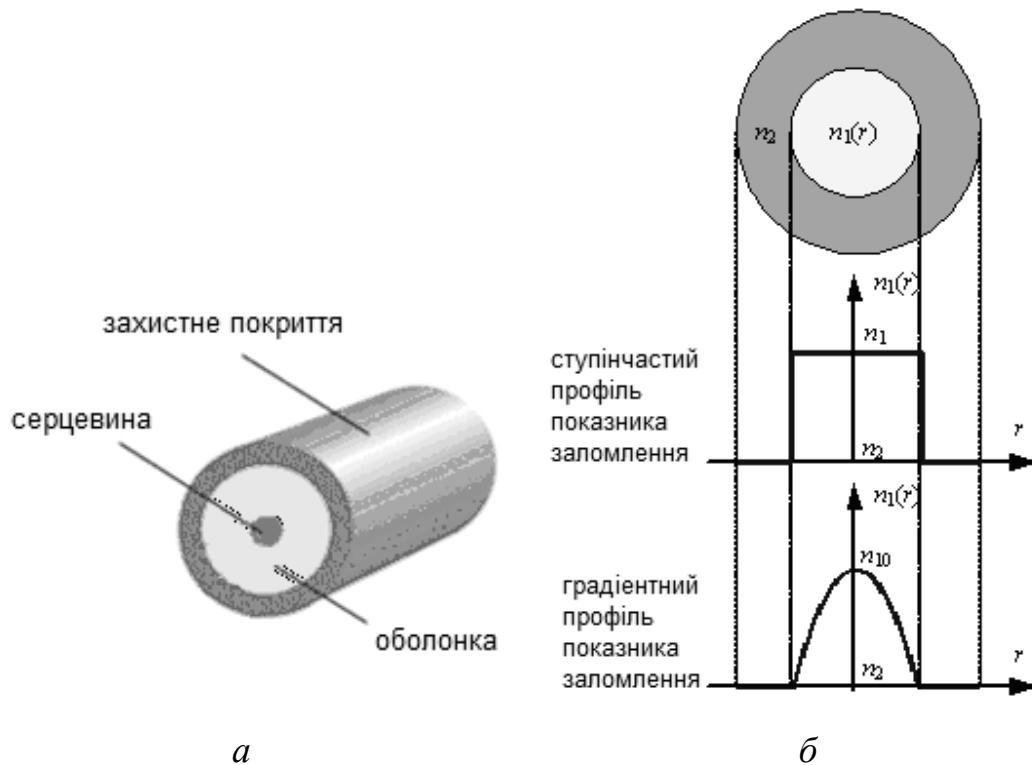


Рисунок 1.1 – Структура (а) та профіль показника заломлення (б) ОВ

По оптичним волокном здійснюється передача сигналів у вигляді оптичного випромінювання. Для того, щоб оптичний сигнал утримувався в межах серцевині оптичного волокна, потрібно між показниками заломлення серцевини та оболонки була значна різниця. Показник заломлення оболонки оптичного волокна – постійна величина, тоді як показник заломлення

серцевини може бути як постійним, так і змінюватись за певним законом, що називається профілем показника заломлення. Це закон зміни показника заломлення у поперечному перерізі оптичного волокна.

Серцевина та оболонка виготовляються із плавленого кварцу SiO_2 . Зазвичай оболонка оптичного волокна виготовляється з чистого кварцу, має постійний показник заломлення n^2 та покрита захисним шаром акрилатного лаку, а серцевина для забезпечення необхідного профілю показника заломлення n^1 легується домішками (GeO_2 , P_2O_5), які збільшують показник заломлення. Розміри оболонки і серцевини оптичного волокна стандартизовані.

Усі оптичні волокна можна розділити на оптичні волокна зі градієнтним профілем та ступінчастим профілем показника заломлення (рисунок 1.2). На межі серцевини та оболонки може спостерігатися явище повного внутрішнього відбиття. Якщо випромінювання із середовища, що характеризується більшою щільністю, переходить у середовище із меншою щільністю (тобто $n_1 > n_2$, $\varphi_t > \varphi_i$), при деякому куті падіння $\varphi_i = \varphi_{\text{кр}}$ кут заломлення дорівнюватиме $\varphi_t = \pi/2$ (промінь e на рис. 1.2,а). При подальшому збільшенні кута падіння $\varphi_i > \varphi_{\text{кр}}$ заломлений промінь зникне (рисунок 1.2, а).

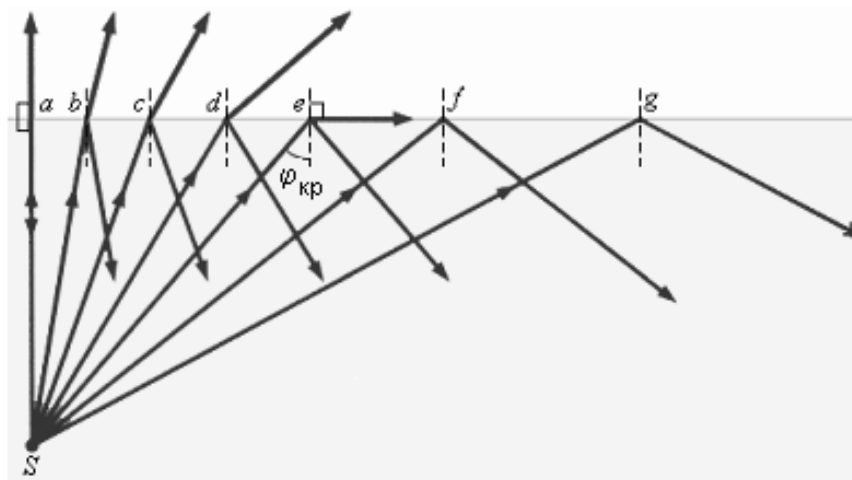


Рисунок 1.2 – Повне внутрішнє відбиття

Таблиця 1.1 Характеристики одномодових оптичних волокон фірми Alcatel Lucent

Фірма		Alcatel Lucent			
1		2	3	4	5
Позначення		SM – 9 / 125	All Wave	True Wave	True Wave
Тип оптичного волокна		SSF	NZDSF	NZDSF	NZDSF
Стандарт ITU-T		G , 652	G , 655	G , 655	G , .655
Геометричні параметри					
Діаметр <u>модової плями</u> , <u>мкм</u> на: $\lambda = 0,85$ <u>мкм</u> $\lambda = 1,30$ <u>мкм</u>		9.3 $\pm$ 0.5 10.5 $\pm$ 1.0	9.3 $\pm$ 0,5 10,5 $\pm$ 1,0	- 8,4 $\pm$ 0,6	- 8,4 $\pm$ 0,6
Довжина хвилі відсічки, нм	у <u>волокні</u>	1150 ... 1350	-	-	-
	у <u>кабелі</u>	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260
Діаметр оболонки, <u>мкм</u>		125,0 $\pm$ 10	125,0 $\pm$ 10	125,0 $\pm$ 10	125,0 $\pm$ 10
Діаметр покриття, <u>мкм</u>		245,0 $\pm$ 10	245,0 $\pm$ 10	245,0 $\pm$ 10	245,0 $\pm$ 10
Дисперсійні параметри					
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм		1300 ... 1322 (1312 нм)	1300 ... 1322	1540 ... 1560	>1450
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм·км)		≤ 18 (1550 нм)	-	0,8 ... 4,6 (1550 нм)	-9 (1310 нм) 4,52 (1550 нм)
Поляризаційна <u>модова дисперсія</u> , пс/ $\sqrt{\text{км}}$		< 0,2	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$ (1550 нм)	$\leq 0,5$ (1550 нм)
Коефіцієнт загасання, <u>дБ/км</u>					
Максимальний на: $\lambda = 0,85$ <u>мкм</u> $\lambda = 1,30$ <u>мкм</u>		0,35 ... 0.40 0,21 ... 0.30	0,35 ... 0.40 0,2 ... 0.25	- 0,2 ... 0.25	- 0,22 ... 0.25
Максимальний у діапазоні (1285 - 1330) нм перевищує загасання на $\lambda = 1310$ нм		Менш ніж на 0,1	Менш ніж на 0,1	-	-
Максимальний у діапазоні (1,525 – 1,575) нм перевищує загасання на $\lambda = 1,55$ <u>мкм</u>		Менш ніж на 0.05	Менш ніж на 0.05	Менш ніж на 0,3	Менш ніж на 0,27-0,3
Загасання в піку ОН (1383 $\pm$ 3) нм		< 2,0	< 0,31	< 1,0	< 2,0
Додаткові параметри					
Робочі вікна прозорості, <u>мкм</u>		1,310/1.550	1.285...1.62	1.530 ... 1,56	1,525 ... 1.62

Під час поширення у оптичному волокні відбувається послаблення оптичного випромінювання, яке називається загасанням. Загасання вимірюється у децибелах або неперах та визначається за формулою

$$a(\text{дБ}) = 10 \cdot \lg(P_0/P_1) \text{ або } a(\text{Нп}) = 10 \cdot \ln(P_0/P_1), \quad (1.1)$$

де P_1 , P_0 – відповідно потужності оптичного сигналу на виході і вході оптичного волокна, оптичного кабелю або будь-якого компонента волоконного-оптичного тракту.

Загасання можна розділити на власне згасання та додаткові втрати. Власне згасання обумовлено конструкцією самого оптичного волокна. Для однорідного оптичного волокна можна розрахувати коефіцієнт загасання α – величину загасання на одиницю довжини

$$\alpha = a(\text{дБ}) / L, \quad (1.2)$$

де L – довжина оптичного волокна, км.

Власні втрати у оптичних волокнах переважно зумовлені поглинанням або розсіюванням.

Розсіювання є фундаментальною (технологічно невід'ємною) причиною загасання у оптичних волокнах і називається розсіювання Релеївське. Його особливістю є значна залежність коефіцієнта розсіювання α_s від довжини хвилі λ випромінювання:

$$\alpha_s = \chi_s \lambda^{-4}, \quad (1.3)$$

де χ_s – коефіцієнт пропорційності (0.7–0.9 дБ•мкм⁴ /км), який залежить від матеріалу (виду та концентрації легуючих домішок тощо) та технології виготовлення оптичних волокон.

Поглинання зумовлене втратами у матеріалі оптичного волокна – кварці і домішках. Носить резонансний характер та спричиняє для кварцу піки згасання в інфрачервоній і ультрафіолетовій областях спектру. У діапазоні довжин хвиль, що використовується, 0,8–1,6 мкм збурення поглинання у кварці відсутні. Найбільше поглинання відбувається із-за гідроксильних груп OH_2 .

Вони дають потужний пік поглинання на довжині хвилі 1,383 мкм.

Також додаткові втрат зумовлені:

- втрати на введенні та виведенні випромінювання;
- втрати, із-за порушеннями геометричних параметрів волокна і випадковим чином розташованими структурними дефектами;
- згинальні втрати (особливо на мікрозгинах);
- втрати у місцях з'єднання (стиків) будівельних довжин кабелю;
- втрати, спричинені недоліками монтажу.

Згасання обмежує максимальну відстань, на яку можна передати сигнал без регенерації. Згасання обмежує також мінімальну відстань, на яку можна передати сигнал без вживання додаткових заходів щодо зниження його рівня. Максимально допустиме згасання в лінії визначається параметрами передавального та приймального пристрою.

Як видно з рисунка 1.3 для передачі оптичних сигналів може бути використана широка ділянка спектра, де втрати у волокнах досить малі. Його прийнято розділяти більш вузькі ділянки – вікна прозорості або робочі діапазони.

Перше вікно прозорості через значну величину коефіцієнта згасання (2–2,5 дБ/км) використовується в основному в локальних мережах із не великими з'єднаннями, у межах декількох сотень метрів. Друге вікно прозорості (O – Original, основний діапазон) використовується вільшосмті у зонних і міських лініях. Третє вікно прозорості (C – Conventional, стандартний діапазон) найбільш широко використовується на магістральних лініях зв'язку. Четверте вікно прозорості (L – Long wavelength, довгохвильовий діапазон) і п'яте вікно

прозорості (S – Short wavelength, короткохвильовий діапазон) разом з третім застосовуються для систем із спектральним ущільненням каналів.

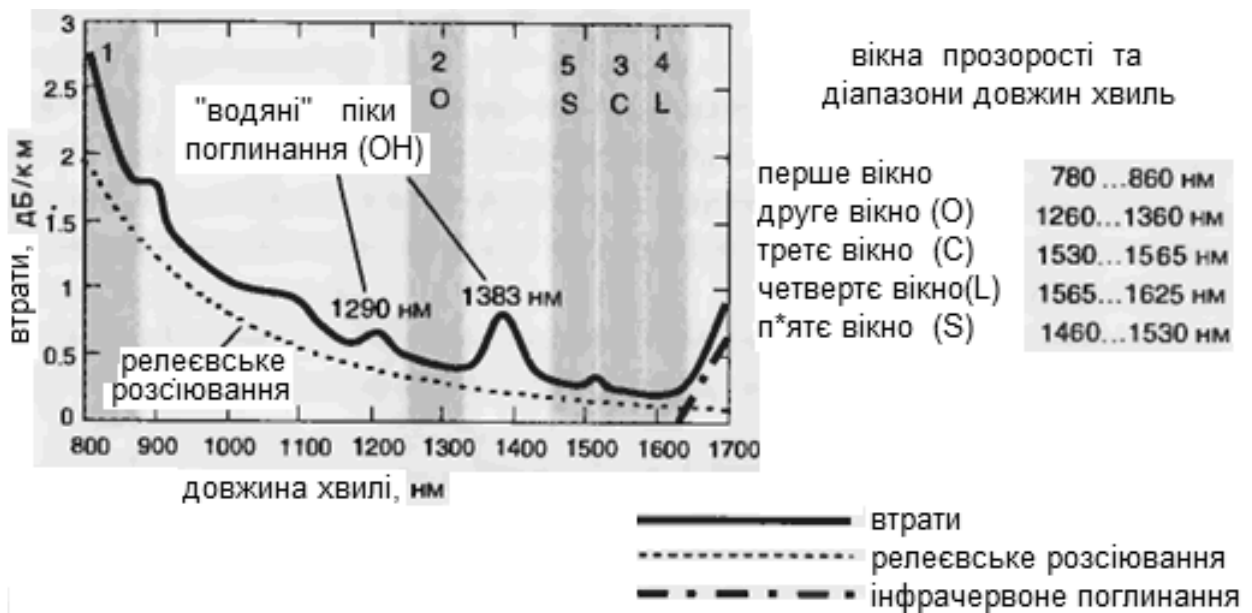


Рисунок 1.3 – Залежність коефіцієнта згасання від довжини хвилі та виду вікон прозорості оптичного волокна

1.2 Оптичні кабелі

Оптичний кабель — промисловий виріб, що складається з одного або кількох оптичних волокон у загальній оболонці, на зовнішню сторону якої, залежно від умов використання, наноситься захисне покриття, що витримує потужність і вагу, включаючи броню. При необхідності оптичний кабель може мати також струмоведучі компоненти.

Оптичні кабелі класифікують за різними ознаками, включаючи сферу використання, наявність або відсутність металевих компонентів, кількість і тип оптичних волокон тощо. У зв'язку оптичні кабелі традиційно класифікують за умовами, за яких вони використовуються та/або експлуатується [1]:

- для прокладання в ґрунті;
- для турелей і кабельної каналізації;

- для кріплення до ліній електропередачі;
- для кріплення до контактної мережі залізниці;
- для прокладання через водні перешкоди;
- внутрішні;
- морські;
- для абонентів останньої милі тощо.

Ця класифікація впливає на стабільність, а також на механічні властивості матеріалу, на який впливають умови навколишнього середовища. [1].

Різновидів конструкцій оптичних кабелів багато, але загальний консенсус такий:

- серцевина або сердечник із оптичними волокнами та додатковим компонентами, які розташовані під першим зовнішнім покриттям кабелю;
- силові компоненти, які приймають на себе поздовжній механічний навантаження. Силові компоненти можуть бути включені в структуру кабелю, а також розташуватись в структурі сердечника.
- екранований захисний шланг, поліетиленова оболонка, що захищає оптичний кабель від зовнішніх негативних впливів, на оболонці міститься інформація про кабель (маркування).
- гідрофобні заповнювачі, призначені для захисту від хімічних речовин з активною полярністю та для заповнення простору в структурі кабелю для підтримки бажаної форми сердечника та кабелю.

Основними різновидами конструкції сердечників (серцевини) кабелю є:

Модульна - трубки, що містять оптичні волокна, які розташовані навколо центрального силового елемента.

Трубчастий – металеві або полімерні трубки, які розташована в центрі кабелю і містять окремі оптичні волокна, пучки волокон або стрічкові волоконні блоки.

Профільований - металева конструкція або фасонний полімер з канавками, які дозволяють розміщувати оптичні волокна або модулі, що містять волокна.

Основним елементом оптичного кабелю є оптичне волокно, тому усі конструктивні елементи кабелю передбачені для надійного захисту та безвідмовної роботи волокна протягом усього терміну експлуатації кабелю

Для прямого захисту застосовано покриття, яке екранує оптичні волокна. Розрізняють вторинне і первинне захисне покриття [1].

Вторинне та первинне захисне покриття розрізняють за товщиною. Перший шар захисту, який наноситься на оптичні волокна, безпосередньо на їх оболонку. Перше захисне покриття волокон - це покриття фарби на акриловій основі, яке наноситься у два шари. Основне захисне покриття (внутрішнє) складається з м'якого акрилату. Його призначення - екранувати оптичні волокна. Вторинне захисне покриття (зовнішнє) Верхній шар складається з твердого акрилату, що забезпечує відчуття м'якості.

Часто окрім основного покриття волокон, оптичні волокна покриті вторинним покриттям, яке призначене для запобігання пошкодженню.

Найбільш поширеними є наступні типи вторинного покриття: 4.2.

- укладання оптичних волокон у спеціальних модульних трубках або у пазах профільованого осердя;
- стрічкові структури.
- за допомогою жорстких конструкцій;

Оптичний модуль складається з пластикових компонентів, трубки, в яку розміщено одне або кілька оптичних волокон (зазвичай до 12 волокон).

Як правило, оптичний модуль складається з гідрофобної речовини. Труби можуть складатися з поліаміду, поліетилену, полікарбонату або полібутилентерефталату. Оптичні волокна в модульних волокнах організовані вільно по гелікоїду. Така конфігурація оптичних волокон зменшує негативний вплив зовнішніх механічних сил на оптичний кабель.

Інший спосіб захисту оптичних волокон полягає в тому, щоб економно розмістити їх у пазах профільованого сердечника. Борозни формуються в гелікоїдному напрямку. Оптичні волокна вільно знаходяться у пазах і фіксуються шляхом покриття профільованого елемента сполучним матеріалом. Таким чином, створюється система, яка є ідентичною системі захисту оптичного компонента. Профільований елемент складається з поліетилену або поліпропілену. Якщо необхідного простору немає, його можна заповнити гідрофобною речовиною.

Жорсткі методи захисту оптичних волокон є обов'язковими в ситуаціях, коли потрібні малі радіуси вигину і високий ступінь супротиву силі здавлювання. У цьому випадку зовнішнє покриття, яке є захисним, наноситься безпосередньо на первинне покриття, яке є захисним. Субстанцією для жорсткого буфера є поліпропілен, поліетилен, зрідка фторопласт.

Пучок оптичних волокон, покритий електрикою, наповнювачами та, можливо, поясною ізоляцією, називається серцевиною кабелю. Серцевина кабелю зазвичай складається з безлічі оптичних волокон. Залежно від типу захисного покриття оптичного волокна конструкція оптичних кабелів поділяється на чотири різні типи: [1]

- оптичні волокна вільно прокладаються у модульних трубах із центральним захисним компонентом та/або профільованим сердечником;
- жорстка конструкція;
- стрічка.

Більш низька, порівняно з основними компонентами металевих кабелів, максимальна міцність оптичних волокон обмежена використанням структурних компонентів, характерних для конструкції оптичного кабелю, ці компоненти включають елементи живлення, які розроблені для поглинання всіх сил розтягування, які можуть бути застосовані до кабелю під час монтажу або під час технічної експлуатації.

В оптичному кабелі модульного типу кілька оптичних компонентів або елементів обертаються навколо центрального силового елемента. Це компонент, який, як правило, складається зі скловолоконного стрижня або сталевий нитки в поліетиленовому покритті. Діаметр центрального фокусного елемента залежить від кількості та діаметра оточуючих його елементів.

Два варіанти скручування серцевинного елемента: SZ-скручування і спіральне змінного напрямку. При спіральному обертанні компоненти обертаються в одному напрямку з однаковим ступенем обертання навколо поздовжньої осі кабелю. При SZ-скручуванні напрямок скручування змінюється після певної кількості кіл, у точці зміни напрямку компоненти сердечника все ще паралельні осі кабелю.

У випадку, якщо в оптичному кабелі використовується лише один захист, він розташовується посередині його конструкції. Потім усі компоненти живлення проводяться за серцевиною кабелю.

Щоб захистити осердя оптичного кабелю від вологи та інших зовнішніх впливів, використовується суцільний шланг, який захищає жилу кабелю. Зверху оболонки може бути використана броня, що складається з металевих стрічок і одного або кількох котушок металу, це призначено для захисту власника від зовнішнього електричного та механічного пошкодження, а також, у деяких випадках, для поглинання сил розтягування (броня). з дроту). Захисний шланг розташований поверх металевих екрану або обплетення, безперервної пластикової екструдованої трубки. Найпоширенішою формою конструкції кабелю, що включає оптичні волокна, є конструкція, яка передбачає упаковку оптичних волокон у трубки, наповнені захисними хімічними речовинами, ці хімічні речовини потім скручуються навколо центральної частини, яка призначена для живлення (рис. 1.4). Переваги цієї конструкції включають просту ідентифікацію оптичних волокон і простоту встановлення всього оптичного кабелю

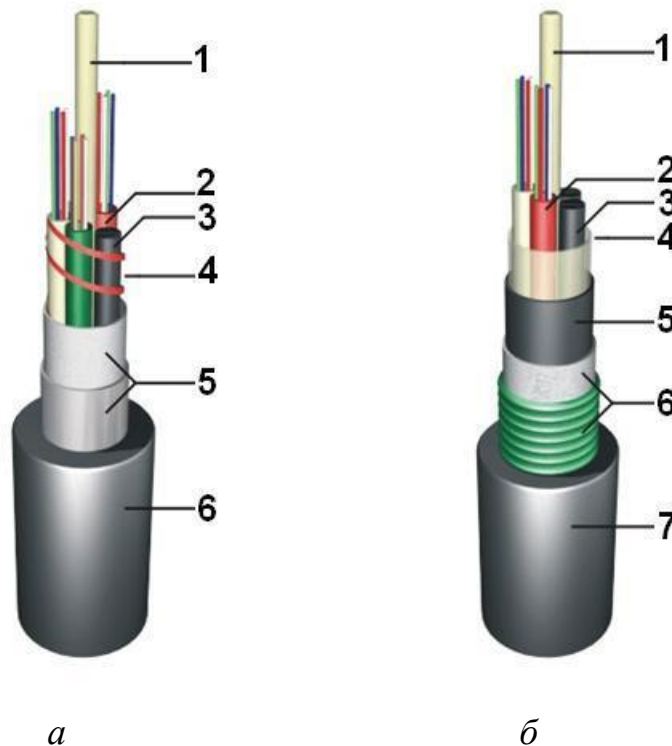


Рисунок 1.4 Приклад конструкції оптичних кабелів для прокладання у:
а - кабельній каналізації; *б* - ґрунті.

В Україні оптичний кабель виготовляють на Одеському заводі «Одесакабель» і Харківському заводі «Південь-кабель». Закордонними виробниками є такі відомі заводи як Corning (США), NK Cable (Фінляндія), Fujikura (Японія), Lucent Technologies (США) тощо.

Виготовлені на заводі будівельні довжини оптичного кабелю намотуються на спеціальні барабани до яких додається паспорт, я якому вказуються конструктивні особливості даного кабелю, галузь його використання, відображаються деякі фізичні параметри цього кабелю, такі як фізична довжина кабелю, специфікація на деякі види матеріалів, а також оптичні параметри волокон, після витоплення кабелю.

Отже, не надто досконалою технологією виготовлення оптичних волокон і кабелів: коливанням розмірів поперечного перерізу вздовж волокна, забрудненням волокон у процесі їхнього витягування, нерівномірності границі оболонка - серцевина, а також згладжуванням цієї границі під час витягування волокна через дифузію домішок, які вводяться для зміни показника

заломлення, виникнення макровигинів, мікровигинів при виготовленні кабелю.

1.3 Лінійні кабельні споруди

Сьогодні в технологічній сфері інформації одним із актуальних залишаються напрямки, які є пріоритетними для розвитку комунікаційних мереж, це будівництво волоконно-оптичних ліній зв'язку. Окрім цього актуальними є завдання модернізації та реконструкції волоконно-оптичних ліній зв'язку, які тривалий час знаходяться у експлуатації, а також аварійних та планових робіт тощо.

До лінійних споруд сучасних волоконно-оптичних ліній зв'язку належать [3]:

- оптичний кабель;
- кінцеві пристрої, оптичні кроси;
- з'єднувальні та розгалужувальні муфти;
- захисні пристрої від впливу корозії та інших небезпечних впливів;
- замірні стовпчики та система маркування траси прокладання кабелю;
- огорожувальні та сигнальні знаки;
- попереджувально-сигнальна стрічка;
- вимірювально-контрольні пункти ;
- контейнери регенераційних пунктів, що не обслуговуються, та їх надземні споруди;
- оглядові колодязі та кабельна каналізація;
- опори підвищування оптичних кабелів;
- спеціальні укріплюючі та захисні пристрої;
- споруди для укріплення та захисту на берегах річок то водойм;
- водовідведення тощо.

Будівництво та модернізація сучасних волоконно-оптичних ліній - це складний і високотехнологічний процес. Для своєчасного та успішного

виконання поставлених завдань залучаються спеціалізовані структурні підрозділи інженерно-технічних робітників, а також використовується сучасна виробнича база. Розглянемо основні технологічні етапи прокладання оптичних кабелів.

Прокладання оптичного кабелю безтраншейним методом в ґрунт кабелепрокладальними механізмами

Найбільш механізованим і економічним видом будівництва волоконно-оптичних ліній зв'язку вважається безтраншейна прокладка кабелю вібраційними кабелеукладниками. При цьому в ґрунт може прокладатись як безпосередньо кабель, так і поліетиленова трубка, в яку після прокладки пневматичним способом задувається волоконно-оптичний кабель. Для здійснення таких видів робіт на нашому підприємстві створено дві колони на базі сучасних вібраційних кабелеукладників американської фірми «Вермеєр», що дозволяють прокладати кабель або поліетиленову трубку діаметром 50 міліметрів на глибину до 1,8 метра. На спрямлених ділянках в ґрунтах першої, другої та третьої категорій, при відсутності частих пересічень комунікаціями, що знаходяться під землею, вібраційні кабелеукладники забезпечують найбільш високу швидкість прокладки до 10 кілометрів у зміну. Заглиблення кабелю або трубки більше ніж на півтораметрову глибину, а також застосування сигнальної стрічки, яка знаходиться над кабелем на глибині 15-20 сантиметрів, зменшують імовірність виникнення пошкодження під час земляних робіт. Крім цього на підприємстві є 5 гідравлічних кабелеукладників-пропорщиків ПВГ-1, які дещо поступаються американським у швидкості та маневреності, але якість прокладки російської техніки в цілому аналогічні американській. Таким чином, прокладання волоконно-оптичного кабелю вібраційними кабелеукладниками дозволяє з одного боку підвищити якість прокладки і прискорити терміни будівництва, а з іншого - мінімізувати нанесення збитків землекористувачам та заощадити кошти.

На ділянках з складними і кам'янистими ґрунтами 4-6 категорій будівництво підсилюється додатковими технікою та допоміжними механізмами. Так до складу кожної колони входять пропорщики, які перед прокладкою попередньо прорихлюють складні типи ґрунтів, ланцюгові траншеєкопачі для розробки траншей, екскаватори, що виконують роботи у важкодоступних місцях. Застосування допоміжних механізмів дозволяє цілком автономно та завчасно підготовлювати трасу перед прокладкою у важких та проблемних ділянках, а, отже, прискорюють процес будівництва.

Прокладання оптичного кабелю на пересіченнях з природними та штучними перешкодами безтраншейним методом горизонтально-направленого буріння

На пересіченнях волоконно-оптичних ліній зв'язку з автомобільними і залізничним дорогами, ріками і болотами, у місцях з багаточисленними підземними комунікаціями, – скрізь де прокладання безтраншейними кабелеукладниками неможлива – прокладку кабелю здійснюють пересувні комплекси горизонтального направленого буріння. Кожен з них також є цілком автономною механізованою колонною, сформованою на базі самохідної бурової установки „Вермеєр навігатор” з різними тяговими зусиллями від 3.5 тон до 45 тон, які дозволяють з високою точністю здійснювати скриті переходи на глибині до 30 метрів довжиною до 1200 метрів, і затягувати у сформований підземний канал пластикову чи металеву трубу діаметром від 50 міліметрів до 1 метру - залежно від потужності установки. Технологія горизонтального направленого буріння дозволяє без зайвих втрат долати природні та штучні перешкоди і прокладати кабель за оптимальним маршрутом, що забезпечує високу швидкість і якість будівництва ліній зв'язку.

Прокладання оптичного кабелю у кабельній каналізації населених пунктів

В межах міст та населених пунктів для прокладання кабелів будується нова інфраструктура кабельної каналізації або використовується існуюча.

Перед прокладання ремонтуються канали кабельної каналізації, оглядаються і до оснащуються кабельні колодязі. В кабельній каналізації прокладання кабелів виконується здебільшого зтягуванням вручну та/або використовуючи лебідки з електричним приводом, кабельні машини зі засобами контролю тягового зусилля. Таким чином прокладаються будівельні довжини кабелю до 2км. Також додатково регламентується мінімально допустимий радіус вигину оптичного кабелю і максимально допустимі зусилля розтягування, характерні для конкретного типу кабелю зв'язку. Таким чином, кабельна інфраструктура сприяє захисту кабелів у місті, а також потенційному розширенню мереж зв'язку.

В залежності від умов будівництва та експлуатації лінійних кабельних споруд обов'язково у тій чи іншій мірі виникає вплив механічних та/або хімічних чинників довкілля, як безпосередньо на оптичні кабель так і на оптичні волокна, що у ньому знаходяться. Розглянемо найбільш поширені з них.

Згини – в процесі виготовлення створюються динамічні режими, це пов'язано з тим, що оптичні волокна можуть деформуватися під час вигину кабелю. Довжину вигину кабелю та компоненти живлення необхідно вибирати так, щоб уникнути значних динамічних зсувів. Через прокладку кабелю радіуси всіх оптичних волокон повинні бути значно більше мінімальних, це забезпечує гарантований термін служби або допустимий рівень втрат на макровигинах, обмежений механічною втомою.

Короткострокові розтягувальні зусилля виникають під час процесу виготовлення та укладання, ці сили можуть призвести до того, що оптичні волокна розтягуються більше, ніж зазвичай, протягом усього терміну служби (наприклад, через зміни температури). Зміна сили розтягування кабелю через зміни навколишнього середовища протягом терміну служби може призвести до різного руху компонентів кабелю. Надмірна напруга розтягування збільшує оптичні втрати та залишає залишкову напругу в оптичних волокнах. Цього слід уникати на етапі проектування, вибираючи оптичний кабель із певною

максимальною міцністю на розтягування та регулюючи цю міцність у процесі розміщення кабелю.

Постійні розтягувальні зусилля може бути присутнім протягом усього терміну експлуатації кабелю. Це часто зустрічається в оптичних волокнах, які підвішені до стовпів та електроопори. Міцність оптичних волокон на розрив можна пояснити їх осьовою міцністю, здатністю до згинання, розтяжністю та наявністю провисання між затискачами через їх власну вагу, спосіб підвішування або спосіб їх прокладки або умови навколишнього середовища, такі як температура, крига, вітер тощо. У результаті при проектуванні повітряних ліній необхідно враховувати номінальну межу міцності, максимально допустиму силу розтягування та простір, доступний для оптичного волокна.

Удари і роздавлювання зазвичай спричинені процесом прокладки, а також технічною роботою оптичного кабелю. Вони можуть призвести до тимчасової або постійної втрати оптичної прозорості або збільшення втрат. Оптичні волокна, призначені для підвішування до опор, повинні мати стійкість до здавлювання, яка не доповнюється додатковими оптичними втратами.

Закручування зумовлене динамічним характером навантажень при операціях технічної експертизи та/або прокладання оптичного кабелю. Таким чином, залишкові речовини можуть взаємодіяти з оптичними волокнами та/або спричинити пошкодження захисного покриття кабелю. Якщо в документації ці ефекти пов'язані з конструкцією кабелю, конструкція кабелю повинна мати достатню кількість осьового обертання на одиницю довжини, не спричиняючи збільшення втрат оптичних волокон або пошкодження оболонки. Максимальне залишкове навантаження на оптичні волокна, спричинене розтягуванням, скручуванням і вигином кабелю, частково відповідає за термін служби кабелю. Оптичний кабель, призначений для прокладки безпосередньо в землю, під час прокладання, транспортування та технічної експлуатації може зазнавати механічних впливів. Важливо пам'ятати, що порівняно з розміщенням кабелю захисним способом,

направлення його на землю є менш захищеним. Спочатку слід враховувати потреби у вигинах, ударах, здавлюванні та дозволений діапазон вигинів оптичного кабелю.

Що стосується стійкості до впливу навколишнього середовища, оптичні кабелі зв'язку повинні мати стійкість до: проникнення вологи, утворення водню, зміни температури, вібрації тощо..

Утворення водню відбувається під час впливу вологи елементи кабелю, виготовлені з металу. Водень може проникати до оптичних волокон, і зумовити зростання втрат оптичної потужності. Тому концентрація водню у кабелі повинна бути достатньо низькою, щоб оптичні волокна не деградували протягом всього терміну експлуатації кабелю. Низький рівень водню у оптичному кабелі отримують шляхом застосування в конструкції водневопоглинаючих матеріалів і гідрофобних наповнювачів .

Проникнення вологи може призвести до зменшення середнього часу старіння матеріалів і міцності оптичних волокон. Захист від проникнення вологи реалізується з допомогою відповідних матеріалів, такі як, наприклад, накладення бар'єрів алюмінієвої фольги з перекриттям та т. інше. Від радіального проникнення вологи добре захищають безперервні металеві бар'єри. У оптичному кабелі для запобігання поздовжньому поширенню вологи можуть застосовуватись різні водоблокуючі стрічки, обмотки, гідрофобні компаунди тощо. Проникнення та замерзання воли у кабелі може викликати роздавлювання оптичних волокон і спричинити втрати оптичної потужності та/або погіршення передавальних характеристик в цілому.

Удари блискавки можуть вплинути на роботу оптичних кабелів, що містять металеві та струмопровідні елементи, наприклад мідні жили або металеві оболонки. При цьому відбувається удар, механічна енергія якого розподіляється по довжині кабелю, може призвести до згорання та/або руйнації захисного покриття оптичного кабелю та пошкодження оптичних волокон в ньому.

1.4 Переваги і недоліки оптичний кабельних ліній зв'язку

Використання оптичних кабелів у сучасних телекомунікаційних мережах має як недоліки так і переваги. Розглянемо їх більш детально. До переваг використання цих ліній можна віднести :

1. Найбільша пропускна здатність оптичних волокон дозволяє передавати значні обсяги інформації із надвисокою швидкістю. Це надзвичайно важливо в сучасних реаліях, де користувачі використовують великі обсяги інтернет-трафіку, відео та т. інше.

2. Малі втрати потужності сигналу під час поширення по оптичному волокніт дозволяють передавати інформацію на значні відстані і без необхідності у підсилювачах рівня сигналу.

3. Низька електромагнітна інтерференція зумовлено тим, що оптичні волокна не створюють електромагнітних впливів і не чутливі до зовнішніх радіо завад та впливів. Це понижує інтерференцію і гарантує стійкість мережі.

4. Безпека обумовлена відмовами через зовнішні втручання, що унеможлиблює перехоплення без доступу і контакту з оптичним волокном.

5. Можливість використання оптичних волокон для резервування шляхом побудови резервних каналів при відмові основних робочих.

6. Тривалий термін використання оптичних волокон обумовлене відсутністю корозії, окислення, що знижує потребу в регулярній заміні.

7. Можливість оптичних сигналів поширюватись на великі відстані без регенерації із-за малих втрат і спеціальних методів регенерації.

До недоліків використання волоконної оптики можна віднести:

1. Високі витрати на обслуговування і прокладання оптичних кабелів у порівнянні з мідними кабелями і альтернативними технологіями.

2. Вразливість під час фізичних пошкоджень оптичних волокон, таких як розриви чи перерізи, призводить до втрати сигналу і вимагає складної і дорогої аварійно-відновлювальної роботи.

3. Високотехнологічність монтажу оптичних волокон вимагає спеціалізованих знань і обладнання.

4. Потреба в конвертації наприклад радіосигналів у оптичні і навпаки.

5. Великі довжини оптичного каналу можуть призводити до деякої затримки сигналу, що важливо враховувати в додатках, які вимагають низької латентності.

Згадані недоліки та переваги можуть варіюватися в залежності від конкретного використання і технологій, що впроваджені у телекомунікаційній мережі.

1.5 Висновки до розділу

Якщо вважати за основний критерій якості стандартних одномодових волокон втрати оптичної потужності під час передачі сигналів по кабельних оптичних лініях зв'язку, тоді окрім власних втрат на поглинання та розсіювання, у оптичному волокні додаткові виникають втрати зумовлені:

- недостатньо досконалою технологією виготовлення оптичних волокон і кабелів
- механічними навантаженням під час прокладання та монтажу оптичних кабелів
- поступове погіршення характеристик оптичних волокон протягом експлуатації із-за механічної втоми та утворення мікротріщин.

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

- після виготовлення оптичних волокон і кабелю на заводі виробнику кабельної продукції з допомогою даних із відповідної паспортної документації на кабель
- не етапі вхідного контролю безпосередньо перед прокладанням кабелю та/або під час контролю оптичних параметрів кабелю після прокладки

- після завершення будівельно-монтажних робіт на волоконно-оптичній лінії зав'язку та/або під час планової перевірки параметрів волоконно-оптичної лінії зав'язку експлуатації.

Для цього розглянемо існуючі методи та засоби оцінювання якості стандартних одномодових оптичних волокон.

2 МЕТОДИ І ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ВТРАТ У СТАНДАРТНИХ ОДНОМОДОВИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКНАХ

У попередньому розділі кваліфікаційної роботи встановлено, що окрім власних втрат на поглинання та розсіювання, у оптичних волокнах можуть виникати додаткові втрати через низку причин, що зумовлені не достатньо досконалою технологією виготовлення оптичних волокон і кабелів, а також - додаткові втрати потужності у оптичні волокна, що виникають в процесі прокладання та монтажу оптичних кабелів, а також поступове погіршення характеристик оптичних волокон протягом експлуатації із-за механічної втоми та утворення мікротріщин.

У даному розділі розглянемо методи і засоби оцінювання втрат у оптичних волокнах, на основі яких розробимо методику поетапного дослідження загасання у одномодових оптичних волокнах.

2.1 Метод зворотного розсіювання

Метод зворотного розсіювання або рефлектометричний метод ґрунтується на реєстрації відбитого або розсіяного у зворотному напрямку випромінювання від неоднорідностей у оптичному волокні, що вимірюється в оптичному кабелі під час поширення у ньому оптичного імпульсного випромінювання і вимірюванні залежності рівня оптичного випромінювання від часу та відстані цього випромінювання. Метод застосовується для визначення розподілених оптичних втрат вздовж довжини оптичного волокна і визначення оптичної довжини волоконно-оптичного кабелю, вимірювання загасання оптичного сигналу у локальних і розподілених неоднорідностях, у зварних та роз'ємних з'єднаннях, для встановлення оптичної відстані до них, вимірювання значень втрат у місцях перегину, деформації мікротріщин оптичного волокна та т. ін.

Такого виду вимірювання виконуються з допомогою імпульсного рефлектометра, спрощена схема якого наведена на рисунку 2.1.

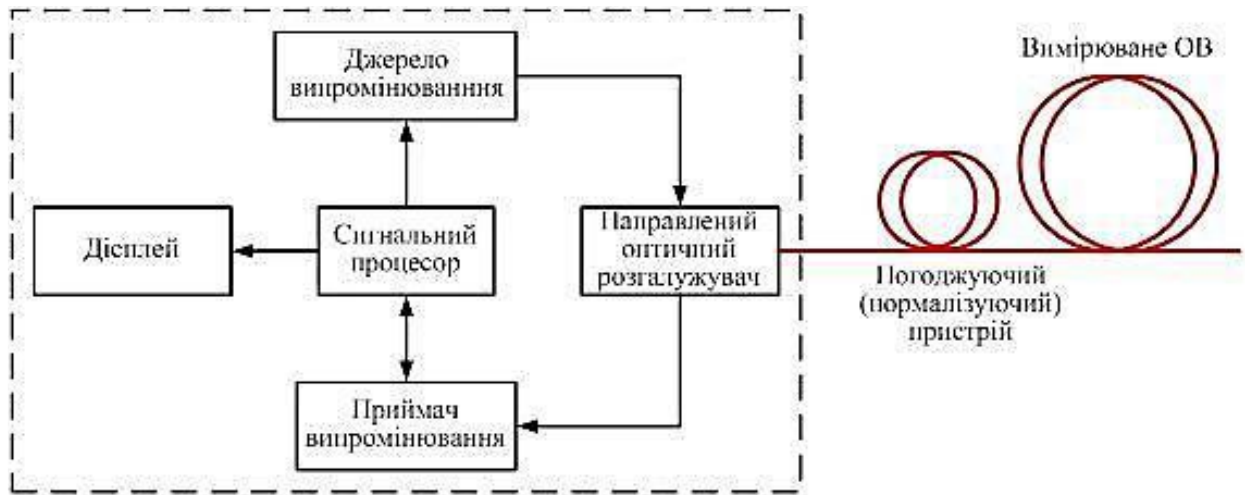


Рисунок 2.1 — Установка для вимірювання методом зворотного розсіювання

В установці, яка наведена на рисунку 2.1, лазер використовується в якості джерела випромінювання. Він генерує стабільні імпульси оптичного випромінювання за довжиною хвилі, потужністю, частотою повторення і тривалістю. Потужність оптичного випромінювання має бути оптимізована в залежності від умов вимірювань. При цьому не повинно виникати нелінійних ефектів у оптичному волокні вимірюваного оптичного кабелю. Направлений оптичний розгалужувач забезпечує ефективну передачу потужності сигналу у оптичне волокно вимірюваного кабелю і розсіяного у зворотному напрямку та/або відбитої потужності до приймача випромінювання.

Числова апертура направленої оптичного розгалужувача повинна відповідати числовій апертурі оптичного волокна вимірюваного кабелю.

Приймач випромінювання налаштовується на швидкодію, що відповідає тривалості імпульсу джерела випромінювання.

Для реєстрації зворотного розсіювання та відбитих сигналів виконують налаштування сигнального процесора таким чином, щоб він забезпечував збільшення відношення сигнал-шум на виході приймача випромінювання на достатнім рівні.

Заходи слід вживати в типових кліматичних умовах. Як правило, використовується довгий шматок шнура або котушки, вони зазвичай достатньо довгі, щоб покрити площу до 10 квадратних футів. кабелю, який буде використовуватися, щоб уникнути необхідності використання кабелю мертва зона, яка помітна на початку рефлектограми в результаті оптичного відбиття. Потужність передається від світловипромінюючого діода до оптичного волокна, цьому сприяє спеціальне оптичне волокно, яке називається конектором. З ним пов'язаний рефлектометр. Перед тим, як почати вимірювання, обидва кінці повинні бути закриті оптичний кабель, який вимірюється, звільняється від захисної оболонки менш ніж більше 30 см. Потім відшаровується 30-50 мм оптичної фарби. Після цього оптичні волокна розколюють у можливий спосіб мали профіль, перпендикулярний і рівний осі волокна. Одна сторона оптичне волокно, яке вимірюється, підключається до пристрою, який його вимірює. усуває необхідність у розсіяних і відбитих рівнях потужності випромінювання, пов'язане з проходженням вимірювальних імпульсів. Абсолютний вид відбитої та розсіяної дуги випромінювання називають рефлектограмою, цей термін більш стислий. показано на рисунку 2.2.

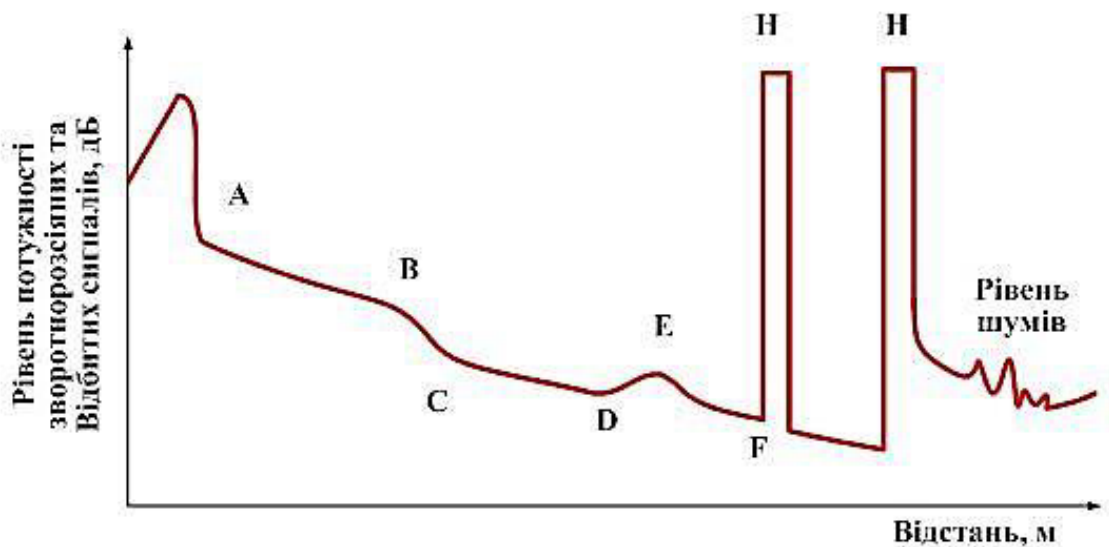


Рисунок 2.2 — Крива розсіяного у зворотному напрямку та/або відбитого випромінювання

Загасання на ділянках волокна АВ та CD (рисунок 2.2), що не містять локальних неоднорідностей між характерними точкам процесор рефлектометра визначає за формулами

$$A_{AB} = \frac{1}{2}(p_A - p_B); \quad (2.1)$$

$$A_{CD} = \frac{1}{2}(p_C - p_D), \quad (2.2)$$

де A_{CD} , A_{AB} - загасання на ділянках CD і АВ, дБ; p_B , p_A - рівні потужності зворотного розсіяного випромінювання у точках В і А, дБ; p_D , p_C - рівні потужності зворотного розсіяного випромінювання у точках D і C, дБ.

Ділянки ВС та EF на рисунку 2.2 містять загасання, зумовлені фізичними з'єднаннями та/або наявністю неоднорідностей, процесор рефлектометра вираховуються за формулами

$$A_{BC} = \frac{1}{2}(p_B - p_C); \quad (2.3)$$

$$A_{EF} = \frac{1}{2}(p_E - p_F), \quad (2.4)$$

де A_{EF} , A_{BC} - загасання на ділянках EF і ВС, дБ; p_E , p_B - рівні потужності розсіяного у зворотному напрямку випромінювання спочатку ділянок EF і ВС, дБ; p_F , p_C - рівні потужності розсіяного у зворотному напрямку випромінювання на кінцях ділянок EF і ВС, дБ.

Загасання по всій довжині оптичного кабелю витраховується за формулою

$$A = \frac{1}{2}(p_A - p_H) \quad (2.5)$$

де: A - загасання оптичного кабелю, дБ; p_A - рівень потужності розсіяного у зворотному напрямку сигналу на початку оптичного кабелю, дБ; p_H - значення

потужності розсіяного у зворотному напрямку сигналу на кінці оптичного кабелю, дБ;

З допомогою кривої зворотного розсіювання та відбиття, яка наведена на рисунку 2.2, визначають відстань до характерних точок А - F.

Під час вимірювання оптичних волокон у кабелі, аналізують характерні точки Н на кривій відбиття і зворотно розсіяного випромінювання. За умови, що точок Н більше однієї, оптичне волокно містить обрив. Коли точка Н одна, то рішення щодо обриву приймають із умови

$$p_H = p'_H \quad (2.6)$$

Якщо відсутній обрив оптичного волокна, то виконується співвідношення

$$p'_H < p_H \quad (2.7)$$

де p'_H - рівень відбитої потужності у Н при вимірюванні з імерсійною рідиною на вихідному торці волокна; p_H - рівень зворотної потужності е Н при вимірюванні без імерсійної рідини на вихідному торці волокна;.

Метод зворотного розсіювання характеризується невизначеністю методичної похибки, тому похибка не розглядається.

Метод рефлектометрії забезпечує наступні переваги у порівнянні із іншими методами контролю параметрів волоконно-оптичних ліній зв'язку:

- виміри достатньо отримати доступ до лише одного кінця оптичного кабелю;
- можливість вимірювання довжини оптичного волокна або кабелю до місця пошкодження та/або неоднорідностей, мікровигинів, макрозгинів і т. ін.;
- можливість точного вимірювання втрати у місцях зварних і роз'ємних з'єднань оптичних волокон;

- можливість вимірювання коефіцієнту зворотного відбиття у місцях роз'ємних з'єднань оптичних волокон;

Таким чином, метод зворотного розсіювання дозволяє виконувати оцінку стану оптичних волокон з плином часу. Дає можливість провести порівнянням первинних та отриманих поточних рефлекторам на різних довжинах хвиль 1,55 мкм і 1,31 мкм. Це дозволяє виявити характер неоднорідності, наприклад, ідентифікувати зварне зрощення оптичних волокон або їх згин.

Прилади і засоби у яких реалізовано метод зворотного розсіювання називаються оптичні імпульсні рефлектометри. Розглянемо деякі із них.

2.2 Оптичний імпульсний рефлектометр

Робота оптичного імпульсного рефлектометра полягає у реєстрації та оцінюванні сигналів зворотного розсіювання і відбиття, які виникають під час поширення випроміненого імпульсного сигналу по досліджуваному оптичному волокну. Рефлектометр випромінює у волокно оптичні імпульси з певним періодом повторення, через визначені часові інтервали прилад вимірює потужність отриманих зворотних сигналів.

З точки зору поставлених у даній роботі задач та виконання досліджень, найбільшою перевагою рефлектометра у порівнянні з іншими приладами полягає у можливості діагностування параметрів оптичних волокон, коли є доступ лише до одного з кінців оптичного кабелю. Це дозволяє провести дослідження оптичних волокон під час виготовлення оптичних кабелів, на етапі вхідного контролю і контролю після прокладання кабелі, і нарешті коли оптична лінія змонтована і передається в експлуатацію.

Розглянемо принцип роботи рефлектометра з допомогою його структурної схема, яка представлена на рисунку 2.3.

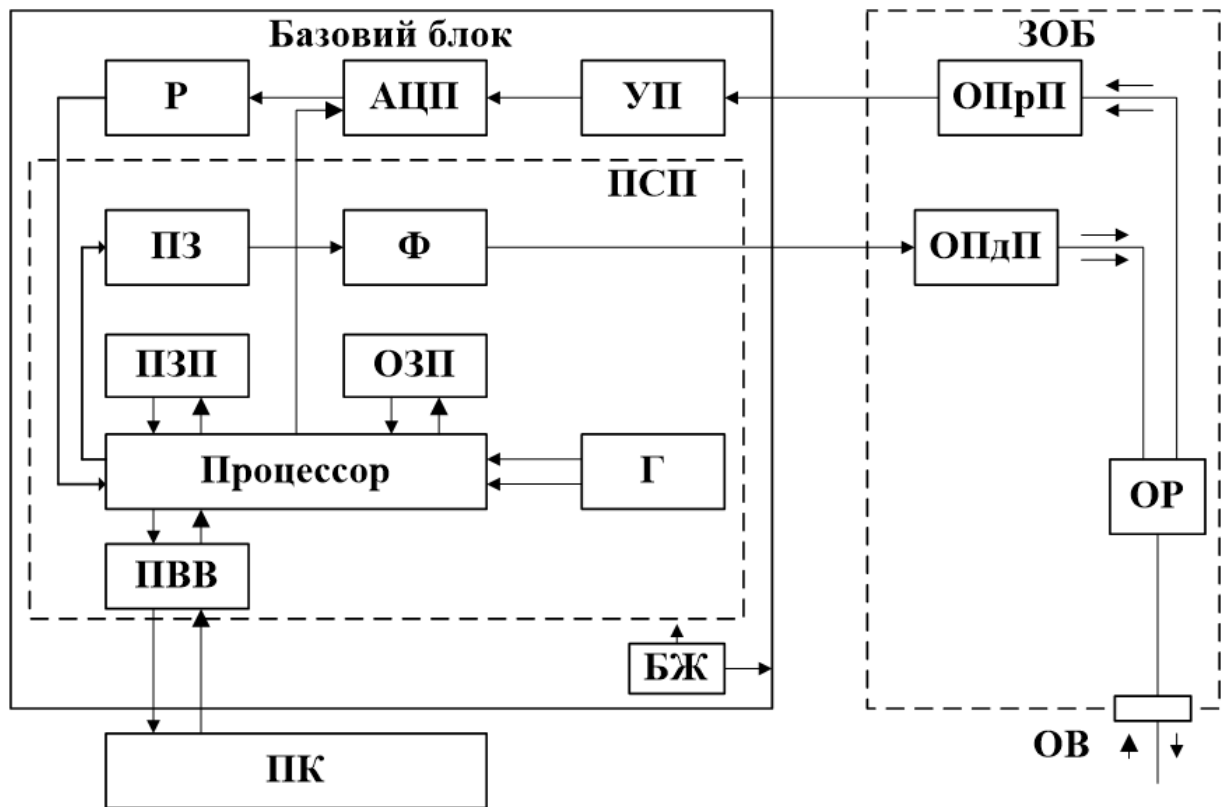


Рисунок 2.3 – Структурна схема оптичного рефлектометра:

Р – регістр; АЦП - аналого-цифровий перетворювач;

УП - узгоджувальний підсилювач; ПЗ - пристрій зсуву;

Ф – формувач; ПЗП - постійний запам'ятовувальний пристрій; ОЗП - оперативний запам'ятовувальний пристрій; Г – генератор; ПВВ - пристрій введення-виведення; П - процесор; ЗОБ - змінний оптичний блок; ОР – оптичний розгалужувач; БЖ – блок живлення; ПК – персональний комп'ютер; ОВ -оптичне волокно.

Рефлектометр містить (рисунок 2.3):

- регістр (Р), що здійснює зчитування даних з виходу аналого-цифрового перетворювача і подача їх в процесор;
- аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який перетворює аналоговий сигнал з виходу узгоджувального підсилювача у цифровий формат;

- підсилювач узгоджувальний (УП), що виконує функцію узгодження рівнів сигналів оптичного приймального пристрою і аналого-цифрового перетворювача;
- пристрій зсуву (ПЗ), який збільшує просторову роздільну здатність рефлектометра шляхом створення додаткового зсуву вимірювального імпульсу відносно сигналу керування процесора;
- формувач (Ф), що здійснює формування сигналу запуску оптичного передавального пристрою;
- оперативний запам'ятовувальний пристрій (ОЗП) по запам'ятовуванню даних, які відображаються на рефлектограмах;
- постійний запам'ятовувальний пристрій (ПЗП) для збереження прикладних програм;
- генератор (Г), що формує тактові сигнали процесора;
- пристрій виведення - введення (ПВВ) для організації зв'язку процесора з допомогою послідовного інтерфейсу із персональним комп'ютером;
- процесор (П), що створює сигнали керування блоками ОЗП, ПЗ, Р, ПВВ, ПЗП, зчитує данні з цих блоків і здійснює зв'язок рефлектометра з персонального комп'ютера. Блоки Г, ПВВ, Ф, ПЗ, ОЗП, ПЗП об'єднані на платі сигнального процесора ПСП.
- змінний оптичний блок (ЗОБ), чи не найголовніший елемент рефлектометра, що складається з оптичного розгалужувача ОР, оптичного приймального пристрою ОПрП, оптичного передавального пристрою ОПдП,. ОПдП з допомогою потужного лазерного діоду генерує оптичні імпульси із заданою тривалістю. ОПрП реєструє і підсилює розсіяні зворотні сигнали. ОР здійснює введення імпульсів у досліджуване оптичне волокно і отримує сигнал зворотного розсіювання, який подається на ОПрП.

У базовому блоці міститься імпульсний перетворювач напруги, акумуляторна батарея і електронні вузли для керування процесом вимірювання і накопичення інформації, а також змінний оптичний блок. На

передній панелі змінний оптичний блок знаходиться оптичний роз'єм, щоб виконувати під'єднання вимірювального оптичного волокна.

Принцип роботи рефлектометр відбувається наступним чином. По команді керуючої програми, яка знаходиться у оперативній пам'яті персонального комп'ютера, процесор виробляє код запуску оптичних імпульсів з допомогою блоків оптичного передавального пристрою, формувача і пристрою зсуву. Під час поширення імпульсу по оптичному волокні частина його енергії розсіюється у зворотному напрямку і приймається на оптичному приймальному пристрою, у якому перетворюється у електричну форму і підсилюється. Тривалість сигналу зворотного розсіювання на виході оптичного приймального пристрою дорівнює подвійному часу проходження оптичного сигналу по оптичному волокні. Через узгоджувальний підсилювач узгоджувального пристрою сигнал, розсіяний у зворотному напрямку надходить на вхід аналогово-цифровий перетворювач і перетворюється у цифровий формат. Робота аналогово-цифрового перетворювача синхронізується процесором. За один період запуску оптичних імпульсів аналогово-цифровий перетворювач зчитує вимірювального сигналу 16384 відліків. Відлік, взятий у момент часу t відносно моменту запуску оптичного імпульсу, відповідає сигналу, розсіяному від неоднорідностей оптичних волокон, що знаходиться на певній відстані

$$z = ct / (2n), \quad (2.8)$$

де c – швидкість поширення світлового випромінювання у вакуумі; n – показник заломлення сердцевини оптичного волокна.

Отже, за один період запуску оптичного імпульсу приймаються сигнали, що сформовані великою кількістю розподілених по оптичному волокні точок.

Кожен відлік, перетворений аналогово-цифровий перетворювачем в цифрову форму, фіксується оперативним запам'ятовувальним пристроєм. Для точного вимірювання сигналу зворотного розсіювання здійснюється

багаторазовий зсув оптичного імпульсу. При цьому процесор усереднює відліки, які відповідають однаковим точкам оптичного волокна, що призводить до збільшення співвідношення сигнал/шум. Після декількох таких циклів отримані значення сигналу з оперативно-запам'ятовуючого пристрою надходять до персонального комп'ютера, запам'ятовуються і виводяться на екрані. Після цього процес вимірювання, усереднення та очищення регістрів оперативно-запам'ятовуючого пристрою повторюється знову. Таким чином, вимірюється, запам'ятовується та відображається вся рефлектограма оптичного волокна. Для збільшення точності та динамічного діапазону вимірювання необхідно збільшити кількість усереднень, встановивши в режим вимірювання з усередненням величину $N_{av} > 1$, ця величина може бути вибрана від 1 до 1024. При цьому час вимірювання пропорційно збільшується.

Найголовнішим параметром імпульсного оптичного рефлектометра є динамічний діапазон. Динамічний діапазон – це різниця між сигналом на початку рефлектограми і середньоквадратичним значенням шумів в кінці рефлектограми. Саме цей параметр визначає максимальну довжину, яку може виміряти оптичний рефлектометр. Чим більший цей діапазон, тим більша відстань робото спроможності приладу;

Діапазон оцінюється у децибелах. Чим більше значення діапазону, тим більшу довжину оптичних волокон можна виміряти рефлектометром. Крім цього, динамічний діапазон залежить від тривалості зондуючого імпульсу і його потужності. Імпульс повинен бути достатньо потужним, щоб досягнути протилежного кінця оптичної лінії, чутливості фотоприймача, щоб забезпечити вимірювання досить слабких сигналів зворотного розсіювання, що надходить з протилежного кінця оптичної лінії, часу усереднення, який чим більший, тим точніші результати вимірювання, оскільки зменшується рівень шумів[15].

Тож перед вимірюванням обираються відповідні параметри вимірювання:

- довжина хвилі вимірювання λ , нм;

- максимальний діапазон вимірювальних довжин $L_{\max}$, км;
- значення показника заломлення оптичного волокна n ;
- тривалість вимірювального імпульсу T_p , нм або мкм;
- кількість усереднень результатів вимірювання, N_{av} ;
- порогові значення вимірювальних величин;
- роздільна здатність dL .

На рисунку 2.4 наведено популярні зразки оптичних імпульсних рефлектометрів.



Рисунок 2.4 – Оптичні рефлектометри:

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

На звершення звернімо увагу не те, що під час процесу вимірювання на моніторі рефлектометра загорасться знак лазерної небезпеки , який сигналізує про те, що під час вимірювання невидимий для людського зору оптичний імпульс може пошкодити сітківки ока оператора. Тому забороняється виконувати від'єднання чи під'єднання оптичних волокон до рефлектометра коли працює лазерне випромінювання. В процесі виконання роботи необхідно чітко дотримуватись інструкцій виконання роботи і відповідних вказівок.

2.3 Обробка результатів вимірювання (рефлектограм)

Для обробки результатів вимірювання або рефлектограм, використовується спеціальне програмне забезпечення, що надходить у комплекті з рефлектометром. З допомогою цього програмного забезпечення можна в «ручному» режимі більш точно проаналізувати всі події, які мають місце на рефлектограмі. Досить зручно користуватись таким програмним забезпеченням безпосередньо на персональному комп'ютері.

Прикладом такого програмного забезпечення є пакет FiberTrace Software. На рисунку 2.5 наведено головне вікно для роботи з рефлектограмами, яке має меню, панелі кнопок, інформаційну панель, робочої області із рефлектограмою.

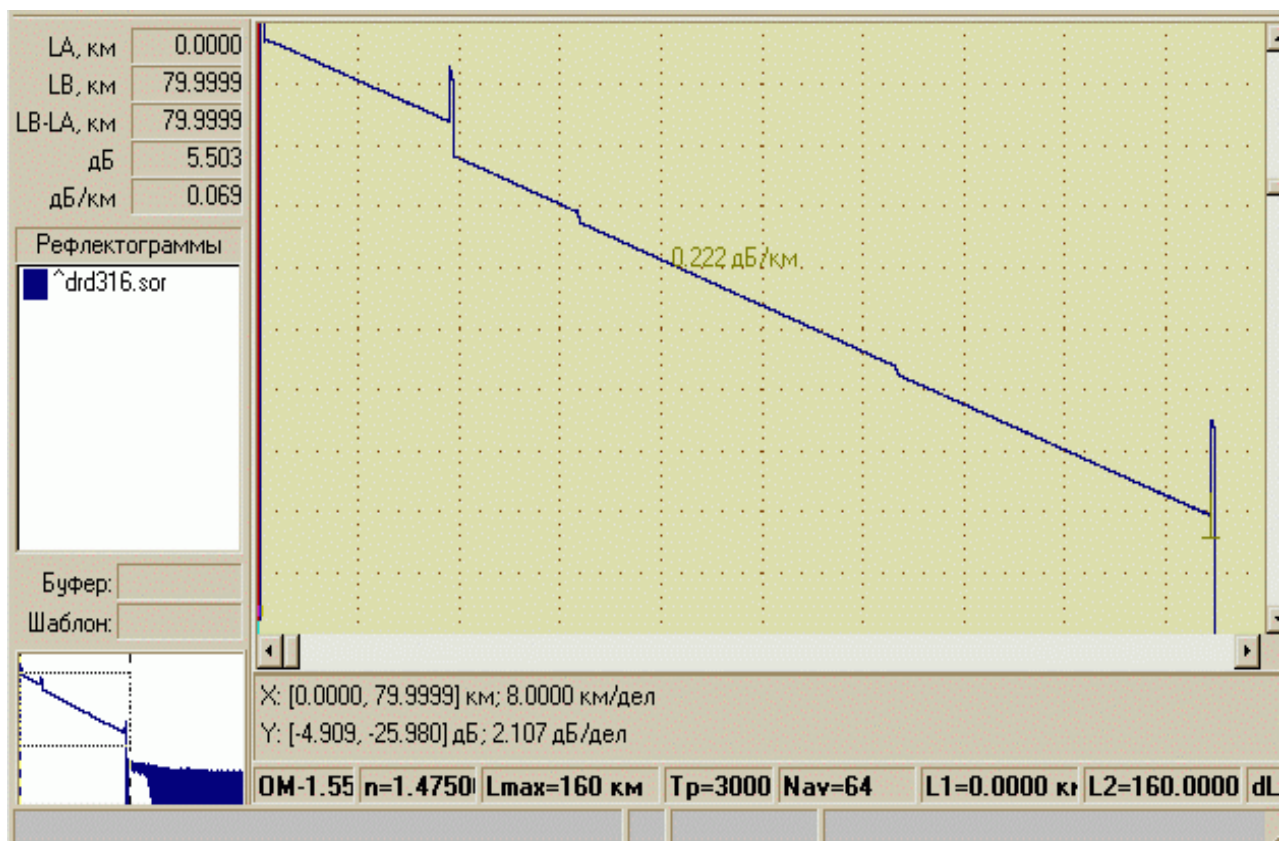


Рисунок 2.5 – Вікно для роботи з рефлектограмами

Інформаційна панель містить наступні дані про результати вимірювання:

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

Крім цього, відображається назва файлу, а також список рефлектограм, що перебувають у буфері програми.

Всі події рефлектограми заносяться до таблиці із відмітками, яка відкривається у пункті меню натисканням кнопки  чи клавіші T на клавіатурі. В цій таблиці відображається:

- номер неоднорідності за порядком;
- тип неоднорідності:
 - S – неоднорідність без відбиття із коефіцієнтом загасання більшим, а коефіцієнтом відбиття меншим відповідних порогових значень;
 - R – неоднорідність з відбиттям, коли коефіцієнт відбиття більший порогового значення незалежно від загасання у неоднорідності;
 - відстань від початку оптичного волокна до поточної неоднорідності, км;
- коефіцієнт кілометричного загасання ділянки між сусідніми неоднорідностями, дБ/км;
- коефіцієнт відбиття у неоднорідності, дБ;
- загасання у неоднорідності, дБ;
- сумарне загасання оптичного волокна від початку до поточної неоднорідності, дБ;

Необхідно зазначити, що у оптичних волокон великої довжини дальні ділянки рефлектограми спотворюється шумами, тому ці ділянки доцільно проаналізувати «вручну». Для цього використовуються наступні методи:

- вимірювання загасання методом двох точок;
- вимірювання загасання з допомогою апроксимації;

- вимірювання коефіцієнта відбиття.

Для аналізу подій на рефлектограмі завіуються два вертикальних маркера: правий і лівий, положення яких відносно початку оптичного волокна відображається у інформаційній панелі.

Для більш точного аналізу подій вимірної лінії рекомендується масштабувати рефлектограму по вертикалі, горизонталі, а також аналізувати у ручному режимі.

Для вимірювання кілометричного загасання певної ділянки оптичного волокна і її дожини використовується метод вимірювання загасання методом двох точок. Для цього необхідно правий та лівий маркери встановити на кінцях ділянки, яку необхідно проаналізувати і натиснути кнопку  чи клавішу Р на комп'ютерній клавіатурі (рисунок 2.6)

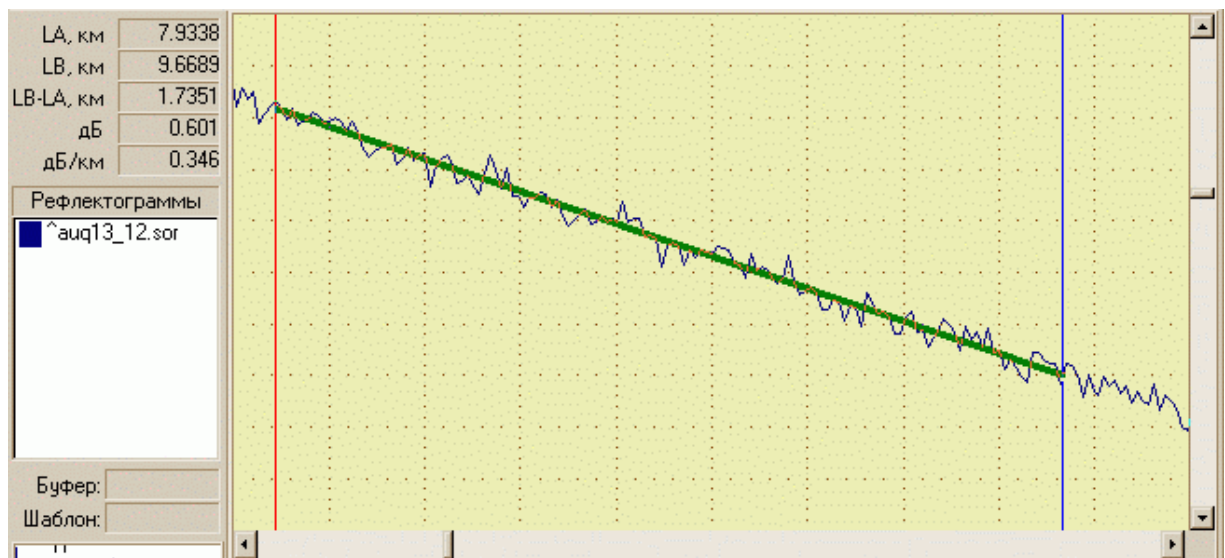


Рисунок 2.6 – Визначення параметрів ділянки волокна методом двох точок

Результати методу вимірювання представлені в таблиці інформаційної панелі в клітинках, які мають довжину LB-LA. кілометрів, відстань між точками перетину маркерів і рефлексограму та ступінь коефіцієнта ослаблення Децибели на кожен кілометр. Щоб визначити ступінь ослаблення всього

спектру оптичного волокна. Лівий маркер повинен бути розташований за межами зони смерті.

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

2.3 Методика дослідження якості оптичних волокон

Для дослідження якості одномодових оптичних волокон можуть бути використані результати вимірювання (рефлектограми), отримані на різних етапах будівельно-монтажних робіт. Так вимірювання під час вхідного контролю дають фактичну інформацію про параметри оптичних волокон у оптичному кабелі після виготовлення на заводі виробнику. А результати вимірювання після прокладання цього кабелю механізованими методами, відображають вплив засобів будівництва на параметри оптичних волокон.

Порівняння результатів цих вимірювань дають відповідь на питання як змінюється якість стандартних одномодових волокон під впливом засобів будівництва волоконно-оптичних ліній зв'язку, що розглядались у третьому пункті першого розділу даної кваліфікаційної.

У таблиці 2.1 наведені етапи вимірювання та дослідження стандартних одномодових оптичних волокон в процесі будівництва волоконно-оптичної лінії зв'язку.

Таблиця 2.1 Етапи вимірювань та випробувань оптичних волокон

№	Назва етапу	Параметри, які аналізуються	Протоколи	Вимірювальні прилади
1	Вхідний контроль оптичного кабелю	Коефіцієнт загасання, Оптична довжина, Дисперсійна крива розподілу	Протокол вхідного контролю	Оптичний імпульсний рефлектометр
2	Контроль після прокладання оптичного кабелю	Коефіцієнт загасання, Оптична довжина, Дисперсійна крива розподілу	Протокол контролю після прокладання	Оптичний імпульсний рефлектометр

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

2.3.1 Дослідження при вхідному контролі

Вимірювання оптичних характеристик будівельних довжин оптичного кабелю можуть проводитись на кабельному майданчику до посатку будівельних робіт при температурі повітря навколишнього середовища 10 ... 35 °С. На етапі вхідного контролю повинні виконуватись перевірка оптичних волокон на наявність мікротріщин, неоднорідностей і вимірюватися загасання оптичних волокон, а також перевірятись і їх довжина оптичним імпульсним рефлектометром.

Оптичні волокна під'єднуються до імпульсного рефлектометра за допомогою адаптера оптичних волокон або механічних з'єднувачів багаторазового використання з оптичним шнуром типу роз'єм «мишачий хвіст», при цьому бажано застосовувати компенсатор мертвої зони рефлектометра.

На рисунку 2.7 наведено приклади рефлектограм із наявністю неоднорідностей і мікротріщин. Виміряні значення порівнюються з паспортними даними.

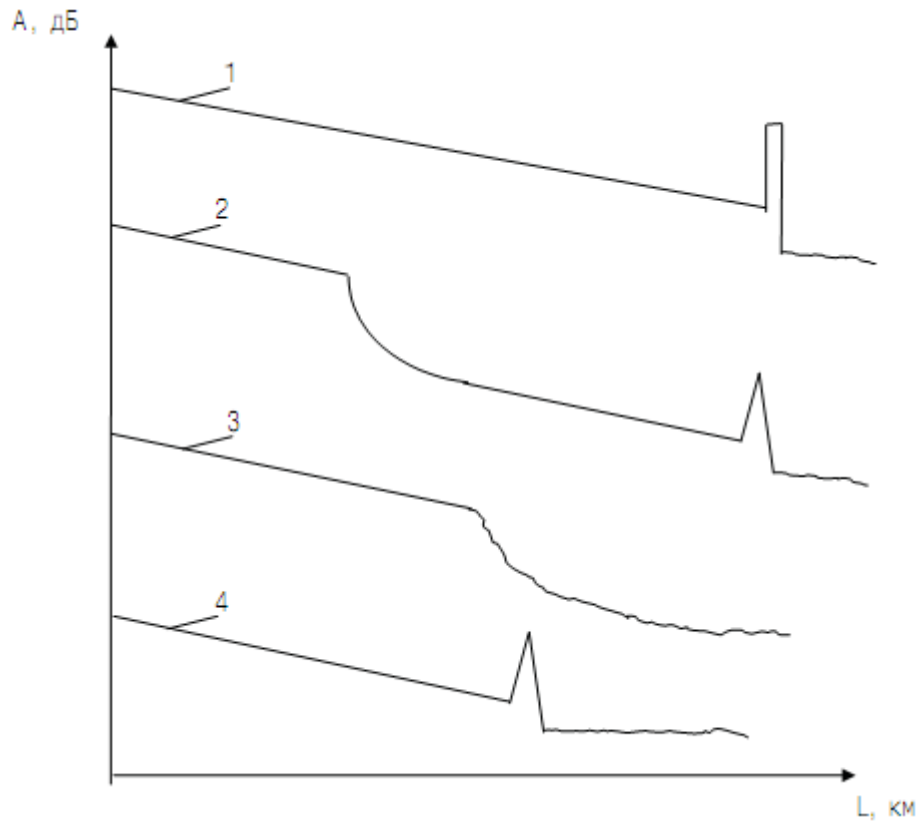


Рисунок 2.7 - Приклади рефлектограм: 1 - непошкоджене оптичне волокно; 2 - наявність мікротріщини у оптичному волокні; 3 - обрив оптичного волокна у оптичному кабелі; 4 - обрив оптичного волокна у оптичному кабелі

Межові коефіцієнти загасання стандартних одномодових оптичних волокон можна взяти і нормативної документації та/або специфікації на ці оптичні волокна.

Для підвищення точності результатів і одержання можливості розрізнити крутизну характеристики отриманої рефлектограми від впливу наявних неоднорідностей в оптичному волокні рекомендується виконувати двосторонні вимірювання оптичного кабелю (рисунок 2.8).

У випадку обриву оптичного волокна та/або перевищення значення загасання у порівнянні із паспортних даних більш ніж на 0.05 дБ/км для одномодових оптичних волокон має складатися і прийматися рішення щодо доцільності подальшого використання цієї будівельної довжини.

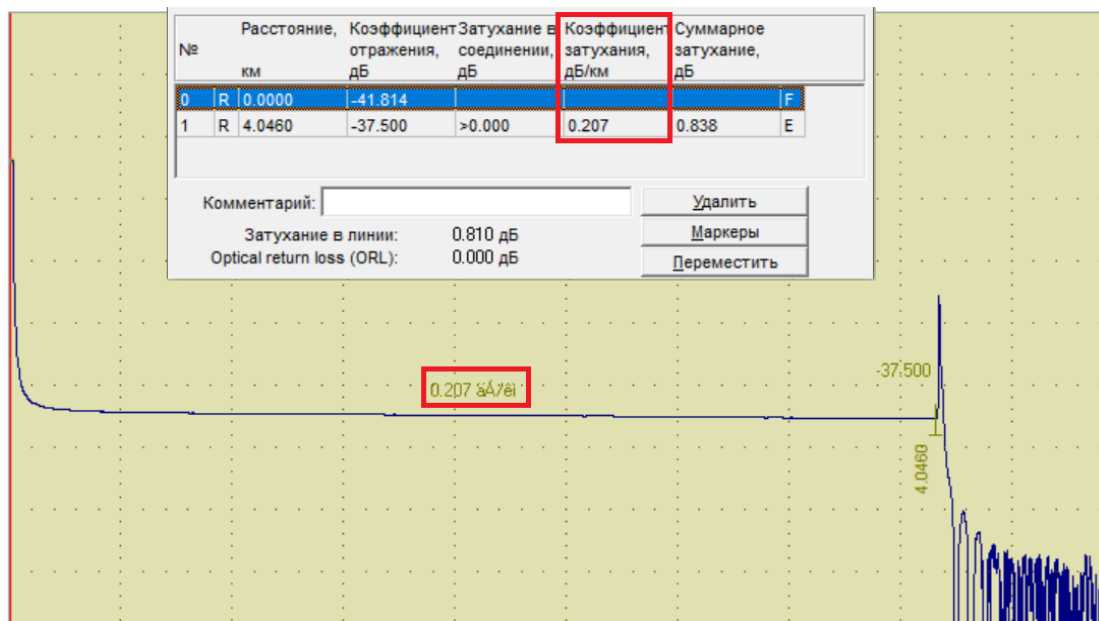


Рисунок 2.8 - Рефлектограма отримана під час вхідного контролю

Результати вимірювань оптичних параметрів оптичного кабелю заносяться у протокол вхідного контролю, фрагмент якого наведений на рисунку 2.9

ПРОТОКОЛ

вхідного контролю оптичного кабелю

Марка ОК _____
 № барабана _____ Фізична довжина ОК, м _____
 Модель рефлектометра _____ Серійний № _____
 Коефіцієнт заломлення _____ Тривалість імпульсу _____

Колір		№ ОВ	Довжина хвилі 1310 нм			Довжина хвилі 1550 нм	
ОМ	ОВ		Оптична довжина ОВ, м	Загасання, дБ /км за паспортом	фактичне	Оптична довжина ОВ, м	Загасання, дБ/км
		1					

Рисунок 2.9 – Протокол вхідного контролю оптичного кабелю

2.3.2 Вимірювання під час контролю після прокладання

Під час виконання монтажних робіт на прокладених будівельних довжинах оптичних кабелів, має проводитися повний комплекс вимірювань аналогічно, як при вхідному контролі, а також перевіряються оптичні волокна на наявність мікротріщин і обривів волокон (рисунки 2.10).

Оптичні вимірювання та випробування прокладених будівельних довжин оптичних кабелів мають проводитися так, як описано в пункті 2.3.1 даного розділу.

Якщо у прокладеній будівельній довжині кабелю у оптичному волокні завищення кілометричного загасання перевищує 0.05 дБ/км порівняно з вимірним значенням при вхідному контролі, або за умови виникнення різних неоднорідностей в оптичному волокні, тоді приймається рішення про доцільність подальшого використання цієї будівельної довжини.

Кабельна вставка виконується у випадку механічного пошкодження оптичного волокна у прокладеному оптичному кабелі, у якому з'явилась мікротріщина та/або обрив волокна. При цьому складається двосторонній акт на додаткові муфти з обґрунтуванням причин, які зумовили їх монтаж.

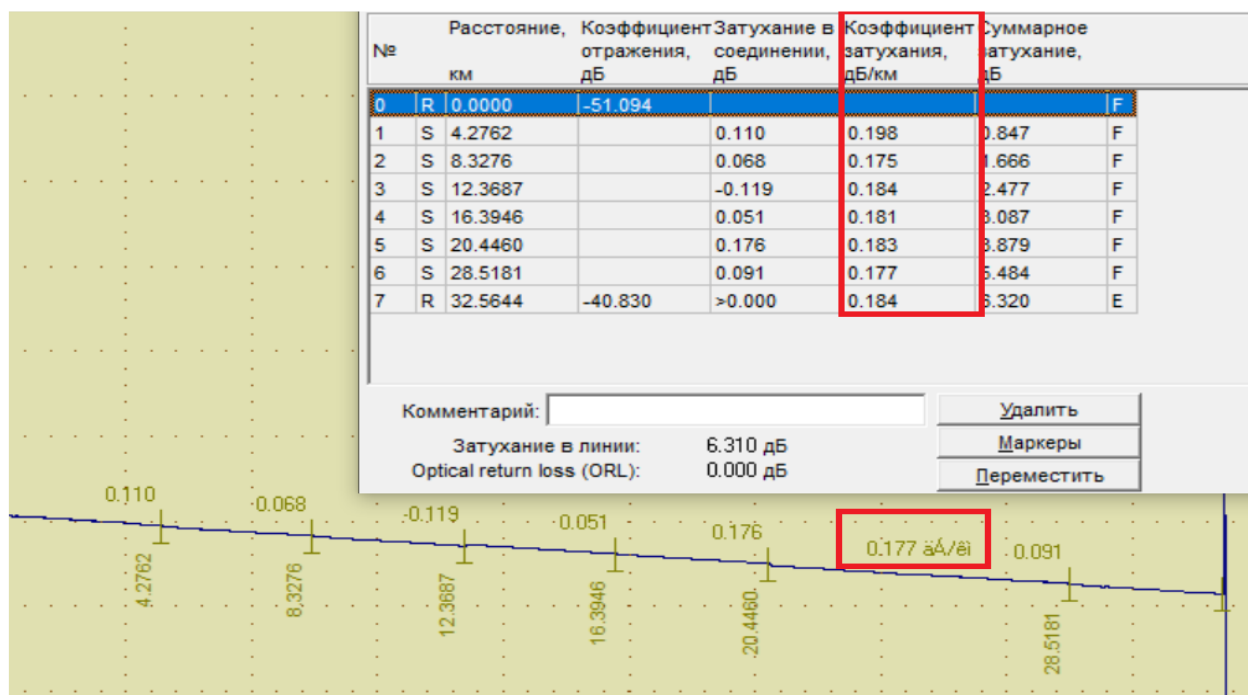


Рисунок 2.10 - Рефлектограма отримана під час контролю після прокладання

Результати вимірювань оптичних параметрів оптичного кабелю після прокладки фіксуються у протоколі контролю після прокладання оптичного кабелю, наведений на рисунку 2.11.

ПРОТОКОЛ

контролю оптичного кабелю після прокладання

Марка ОК _____
 № барабана _____ Фізична довжина ОК, м _____
 Модель рефлектометра _____ Серійний _____
 Коефіцієнт заломлення _____ Тривалість імпульсу _____

Колір		№ ОВ	Довжина хвилі 1310 нм			Довжина хвилі 1550 нм	
ОМ	ОВ		Оптична довжина ОВ, м	Загасання, <u>дБ</u> /км		Оптична довжина ОВ, м	Загасання, <u>дБ</u> /км
				за паспорто м	фактичн е		

Рисунок 2.11 – Протокол контролю оптичного кабелю після прокладання

2.4 Висновок до розділу

Метод зворотного розсіювання найкраще підходить для дослідження якісних характеристик стандартних одномодових волокон, оскільки дає можливість оцінити втрати, що розподілені вздовж усієї довжини оптичного кабелю і визначати кілометричне загасання, а також, визначати загасання у локальних і розподілених неоднорідностях, що можуть мати місце у оптичних волокнах під час виникнення надлишкових механічних впливах на оптичний кабель. Для реалізації даного методі можуть бути використані оптичні імпульсні рефлектометр та розроблена у даній роботі методика дослідження.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

У попередніх розділах даної роботи за основний критерій якості стандартних одномодових оптичних волокон прийнято розподілені втрати оптичної потужності по всій довжині оптичного волокна, які можуть бути оцінені шляхом вимірювання кілометричного загасання. Для цього може бути використаний метод зворотного розсіювання, який реалізований у імпульсних оптичних рефлектометрах. У даному розділі виконаємо дослідження втрат у оптичних волокнах згідно розробленої у попередньому розділі методики дослідження втрат у оптичних волокнах під час вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю та прокладання будівельних довжин оптичного кабелю сучасними механізованими засобами.

3.1 Дослідження під час вхідного контролю

Перед початком будівництва кабельних ліній зав'язку виконується вхідний контроль оптичного кабелю, що надходять з заводу виробника намотані на кабельні барабани.

Розглянемо оптичний кабель закордонного виробництва FinMark LT24-SM-05, який з заводу-виробника надходить у вигляді будівельних довжин намотаних на кабельні барабан (рисунок 1.1).

На рисунку 3.1, *а* представлено конструкцію FinMark LT24-SM-05. Ємність цього кабелю складає 24 стандартних одномодових оптичних волокон SM. Волокна розміщуються у модульній трубках, які спіралеподібно намотані навколо центрального сталевого силового елемента. Усередині модулів знаходиться гідрофобний гель. Простір між оптичними модулями заповнений водовідштовхуючим гідрофобним компаундом. Поверх серцевини кабелю накладена сталева гофрована броня, яка виконує механічний захист та служить гідробар'єром, що перешкоджає проникненню вологи через полімерні

оболонки безпосередньо у кабель. Матеріал зовнішньої оболонки – це звичай поліетилен високої щільності з УФ-стабілізацією.

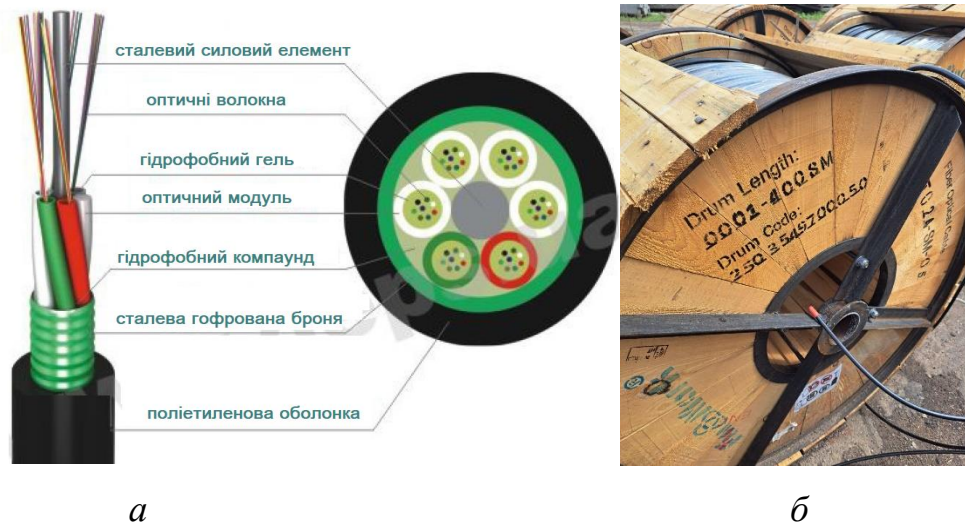


Рисунок 3.1 – Оптичний кабель FinMark LT24-SM-05:

а – конструктивні елементи оптичного кабелю;

б – барабани із намотаними будівельним довжинами кабелю

Цей кабель призначений для прокладання у трубопроводах та кабельній каналізації, на естакадах і мостах, в колекторах і тунелях, при вводі у будинки, в тому числі в місцях заражених гризунами, в ґрунтах без промерзання, а також може фіксуватись по зовнішніх стінах будівель і споруд.

При цьому до кожного із барабанів з кабелем додається паспорт із фізичними та оптичними параметрами, які зафіксовані під час його виготовлення. Приклад паспорта на оптичний кабель FinMark LT24-SM-05 наведено на рисунку 3.2

У паспортній документації наведено результати вимірювання кілометричного загасання його оптичних волокон на двох довжинах хвиль 1550 нм і 1310 нм, які отримані в результаті його тестування після виготовлення на заводі.

TEST REPORT

For Optical Fiber Cable (Single Mode ITU-T Re.G.652D)

Model & Size	FinMark LT024-SM-05		Drum No.	 * 2 5 0 5 5 0 8 8 0 0 4 5 *	
Cable Length	0001m-4011m			17/50	
Cable Diameter	Φ8, 6mm		Test Date	2024.05.28	
Tube No.	Fiber Color Code	Attenuation (dB/km)			
		@1310nm	@1383nm	@1550nm	@1625nm
1#Blue	Blue	0.344	/	0.198	/
	Orange	0.331		0.190	
	Green	0.342		0.194	
	Brown	0.334		0.186	
	Gray	0.342		0.185	
	White	0.344		0.192	
2#Orange	Blue	0.330		0.193	
	Orange	0.331		0.185	
	Green	0.345		0.195	
	Brown	0.342		0.189	
	Gray	0.343		0.187	
	White	0.341		0.202	
3#Green	Blue	0.335		0.193	
	Orange	0.343		0.189	
	Green	0.344		0.197	
	Brown	0.336		0.192	
	Gray	0.333		0.201	
	White	0.336		0.202	
4#Brown	Blue	0.336		0.198	
	Orange	0.335		0.192	
	Green	0.338		0.195	
	Brown	0.340		0.201	
	Gray	0.336		0.202	
	White	0.337		0.188	
Specification		≤0.36	/	≤0.22	/
Remark:The optical fiber in the cable is Fujikura G.652D					

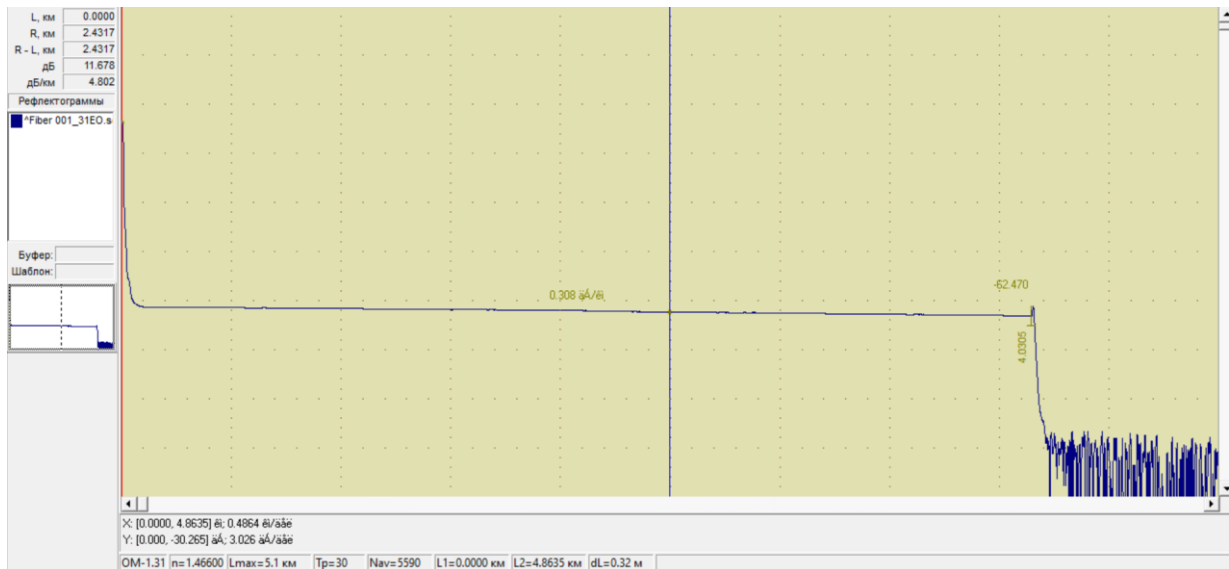
Рисунок 3.2 – Паспорт на оптичний кабель FinMark LT24-SM-05

Оскільки з моменту виготовлення до початку будівництва кабель може зазнавати додаткових навантажень, пов’язаних наприклад із транспортування на об’єкт будівництва тощо, то згідно нормативної та/або проектної документації рекомендовано виконувати вхідний контроль цього кабелю перед прокладанням.

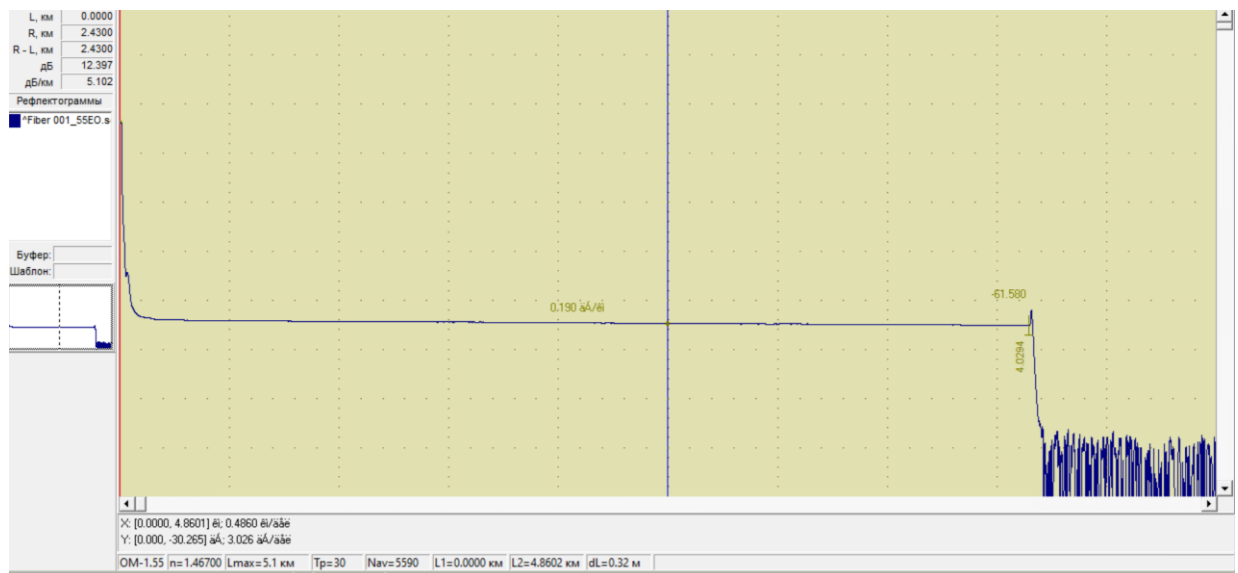
Під час вхідного контролю з допомогою імпульсного оптичного рефлектометра вимірюються кілометричне загасання оптичних волокон та оптична довжина кабелю. Для цього на одному із кінців кабелю знімається захисна поліетиленова оболонка, броньований захист, після цього оптичні волокна очищаються від лакофарбового покриття та під'єднуються до рефлектометра через адаптер і оптичний шнура типу «pig-tail». При цьому для юстування використовуються механічні з'єднувачі оптичних волокон багаторазового використання. Параметри вимірювання, які задаються у налаштуваннях рефлектометра, будуть залежать від довжини оптичного кабелю:

- Вимірювання на двох довжинах хвиль 1310 нм та 1550 нм;
- значення показника заломлення на довжині хвилі 1310 нм 1,4660 ‘
- значення показника заломлення на довжині хвилі 1550 нм 1,4670;
- максимальний діапазон вимірювання довжини лінії $L_{\max}$ 5 км;
- тривалість вимірювального імпульсу 10 мс;
- параметр, що характеризує загальне число усереднень, N_{av} 15 с;

Отримані рефлектограми обробляються з допомогою спеціально програмного забезпечення. На рисунку 3.3 наведено рефлектограми одного із оптичних волокон, які отримані під час вхідного контролю кабелю кабель FinMark LT24-SM-05. На цих рефлектограмах значення кілометричного загасання при вимірюванні на довжинах хвиль 1310нм і 1550нм склали відповідно 0,308 дБ/км та 0,190 дБ/км, а оптична довжина – відповідно 4,0305 км та 4,0294 км.



a



б

Рисунку 3.3 – Рефлектограми оптичного волокна, отримані під час вхідного контролю кабелю FinMark LT24-SM-05: *a* – довжина хвилі вимірювання 1310 нм, *б* - довжина хвилі вимірювання 1550 нм.

Отримані таким чином значення кілометричного загасання та оптичної довжини занесено у протоколи вхідного контролю, приклад якого наведений на рисунку 3.4. Крім цього у протоколі вказується значення загасання з відповідного паспорта на оптичний кабель.

			ПРОТОКОЛ						
			вхідного контролю оптичного кабелю						
Марка ОК		FinMark LT024-SM-05							
№ барабана	25005508800053	Фізична довжина ОК по паспорту,м						4010	
Мітки ОК	0001-4010	Фізична довжина ОК по факту,м						4010	
Модель рефлектометра		MTS 8000			Серійний №			02090	
Коефіцієнт заломлення		1550 нм	1,4670	Тривалість імпульсу , мс			10		
		1310 нм	1,4660						
Колір		№	Оптична	Загасання, дБ / км 1310нм		Оптична	Загасання, дБ / км 1550нм		
		ОВ	довжина	за		довжина	за		
ОМ	ОВ		ОВ,м	паспортом	фактичне	ОВ,м	паспортом	фактичне	
1 модуль Синій	Синій	1	4042	0,332	0,300	4042	0,194	0,186	
	Помаранчевий	2	4042	0,331	0,305	4042	0,197	0,185	
	Зелений	3	4042	0,333	0,301	4042	0,188	0,188	
	Коричневий	4	4043	0,331	0,285	4043	0,189	0,183	
	Сірий	5	4041	0,338	0,282	4041	0,199	0,190	
	Білий	6	4042	0,336	0,284	4042	0,198	0,180	
2 модуль Помаранчевий	Синій	7	4046	0,325	0,311	4046	0,191	0,182	
	Помаранчевий	8	4045	0,334	0,308	4045	0,193	0,187	
	Зелений	9	4043	0,326	0,282	4043	0,184	0,183	
	Коричневий	10	4045	0,332	0,294	4045	0,180	0,189	
	Сірий	11	4045	0,328	0,285	4045	0,183	0,187	
	Білий	12	4046	0,340	0,303	4046	0,183	0,182	
3 модуль	Синій	13	4042	0,335	0,295	4042	0,189	0,184	
	Помаранчевий	14	4042	0,333	0,316	4042	0,195	0,187	
	Зелений	15	4041	0,338	0,299	4041	0,193	0,181	

Рисунок 3.4 – Протокол вхідного контролю оптичного кабелю FinMark LT24-SM-05

Порівнюючи фактичні результатам вимірювання кілометричного загасання стандартних одномодових оптичних волокон під час вхідного контролю із відповідними даними із паспортної документації на цей кабель, можна підтвердити що ці значення надзвичайно близькі, і якщо відрізняються – то несуттєво, у межах похибки вимірювання. Отже вплив на параметри оптичного волокна під час виготовлення кабелю був мінімальним, а транспортування барабанів з оптичним кабелем на об'єкт будівництва виконано коректно. Отже, протестований під час вхідного контролю кабель можна прокладати механізованими методами будівництва.

Наступним етапом очевидно є дослідження оптичного кабелю після прокладання.

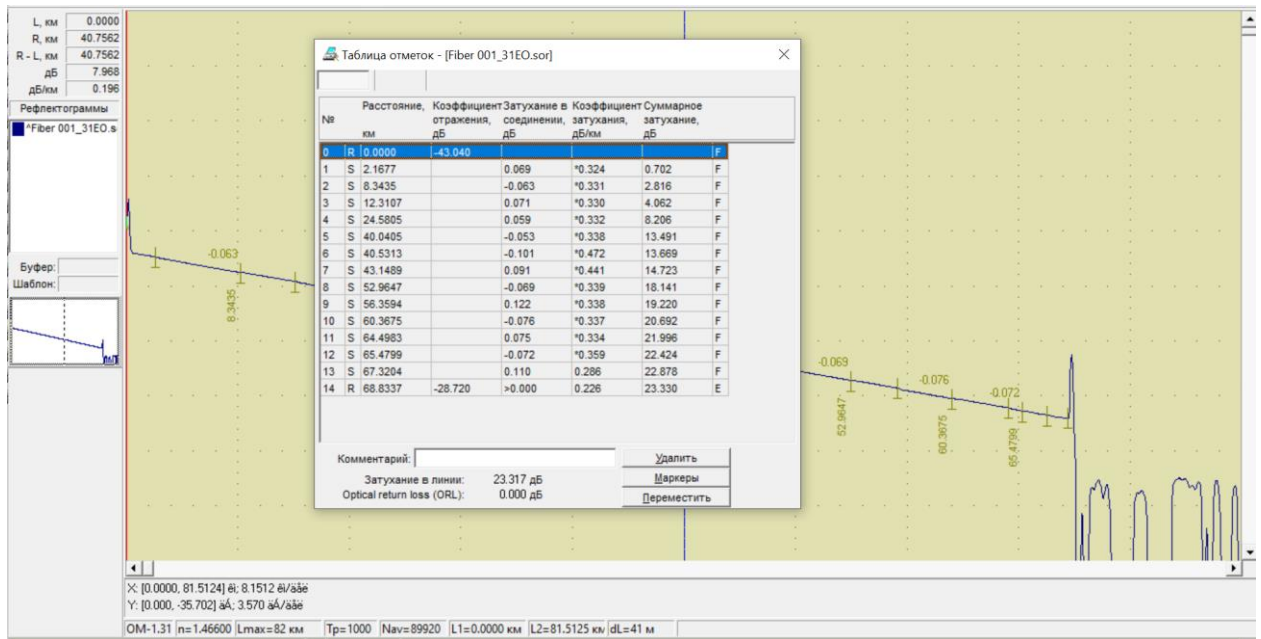
3.2 Дослідження після прокладання та монтажу

Після завершення будівельних робіт з прокладання оптичних кабелів здійснюється монтажно-вимірювальні роботи, під час яких проводиться комплекс вимірювань оптичних параметрів оптичних волокон, який називається контроль після прокладання. При цьому важливо перевірити оптичні волокна на наявність обривів волокон і мікротріщин, адже після прокладання оптичного кабелю механізованим способом, наприклад, екскаватором чи кабелепрокладачем, на певних ділянках траси можуть виникати механічні навантаження, що призводять до розтягнення та/або стиснення оптичних волокон.

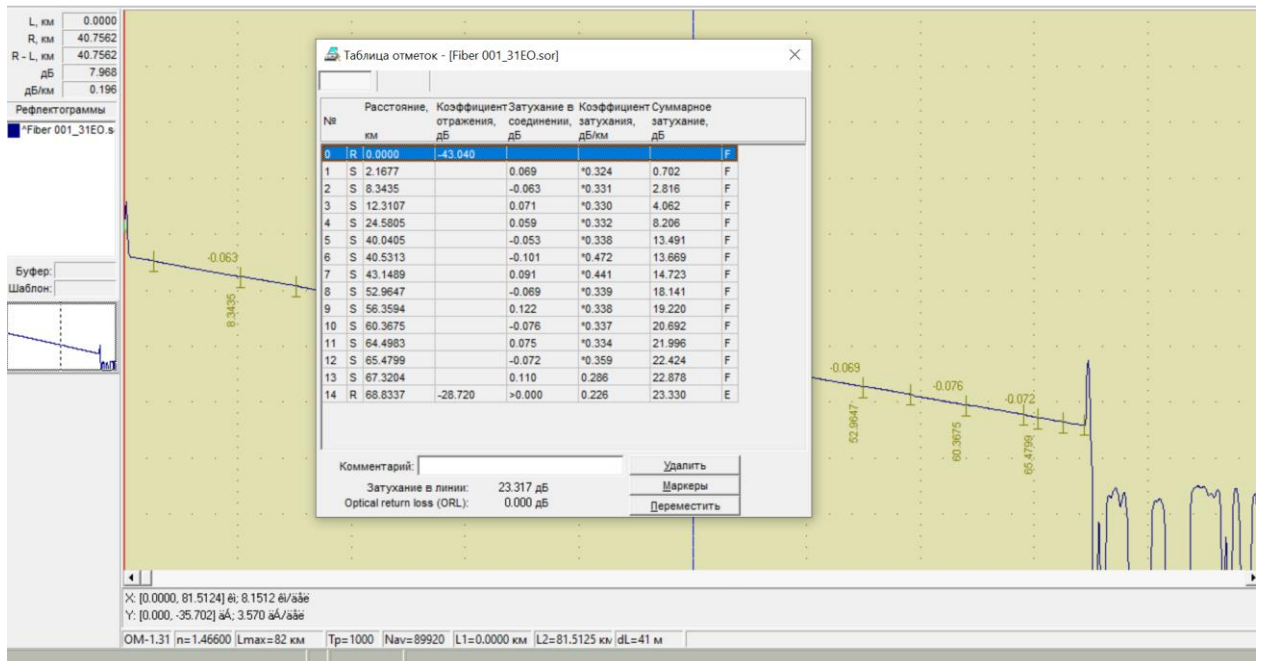
Параметри вимірювання, які задаються у налаштуваннях рефлектометра, будуть іншими у порівнянні із вхідним контролем, оскільки вимірювання виконується змонтованих будівельних довжин, то для контролю після прокладання були встановлено наступні параметри:

- Вимірювання на двох довжинах хвиль 1550 нм і 1310 нм;
- значення показника заломлення на довжині хвилі 1310 нм 1,4660 ‘
- значення показника заломлення на довжині хвилі 1550 нм 1,4670;
- діапазон вимірювання довжини лінії L_{max} 100 км;
- тривалість імпульсу вимірювання 100 мс;
- параметр, що характеризує загальне число усереднень, N_{av} 60 с;

Отримані рефлектограми обробляються з допомогою спеціального програмного забезпечення. На рисунку 3.3 наведено рефлектограми одного із оптичних волокон, які отримані під час вхідного контролю змонтованих декількох прокладених кабелів FinMark LT24-SM-05.



а



б

Рисунку 3.5 – Рефлектограми оптичного волокна, отримані під час контролю кабелю FinMark LT24-SM-05 після прокладання: а – довжина хвилі вимірювання 1310 нм, б - довжина хвилі вимірювання 1550 нм.

Отримані таким чином значення кілометричного загасання та оптичної довжини занесено у протоколи контролю оптичного кабелю після прокладання, який наведений на рисунку 3.4. Як у випадку вхідного контролю,

у протоколі вказується значення загасання з відповідного паспорта на оптичний кабель (рисунок 3.6).

ПРОТОКОЛ								
контролю оптичного кабелю після прокладання								
Марка ОК			FinMark LT24-SM-05					
№ барабана		25005508800053	Фізична довжина ОК по паспорту,м				4010	
Мітки ОК		0001-4010	Фізична довжина ОК по факту,м				4010	
Модель рефлектометра			MTS 8000		Серійний №		02090	
Коефіцієнт заломлення			1550 нм	1,4670	Тривалість імпульсу , мс		10	
			1310 нм	1,4660				
Колір		№	Оптична	Загасання, дБ / км 1310нм		Оптична	Загасання, дБ / км 1550нм	
		ОВ	довжина	за	фактичне	довжина	за	фактичне
ОМ	ОВ		ОВ,м	паспортом	фактичне	ОВ,м	паспортом	фактичне
1 модуль Синій	Синій	1	4042	0,332	0,335	4042	0,194	0,181
	Помаранчевий	2	4042	0,331	0,298	4042	0,197	0,187
	Зелений	3	4042	0,333	0,310	4042	0,188	0,184
	Коричневий	4	4043	0,331	0,298	4043	0,189	0,187
	Сірий	5	4041	0,338	0,282	4041	0,199	0,187
	Білий	6	4042	0,336	0,301	4042	0,198	0,181
2 модуль Помаранчевий	Синій	7	4046	0,325	0,303	4046	0,191	0,182
	Помаранчевий	8	4045	0,334	0,300	4045	0,193	0,181
	Зелений	9	4043	0,326	0,298	4043	0,184	0,182
	Коричневий	10	4045	0,332	0,282	4045	0,180	0,186
	Сірий	11	4045	0,328	0,294	4045	0,183	0,185
	Білий	12	4046	0,340	0,293	4046	0,183	0,186
3 модуль	Синій	13	4042	0,335	0,287	4042	0,189	0,188
	Помаранчевий	14	4042	0,333	0,309	4042	0,195	0,186
	Зелений	15	4041	0,338	0,296	4041	0,193	0,182

Рисунок 3.6 – Протокол контролю оптичного кабелю FinMark LT24-SM-05 після прокладання

Порівнюючи фактичні результатам вимірювання кілометричного загасання стандартних одномодових оптичних волокон під час контролю після прокладання із відповідними даними із паспортної документації на цей кабель, можна помітити що деякі значення відрізняються, але ця різниця знаходиться у межах допустимих норм , які складають 0.005 дБ/км [3]. Отже, мав місце механічний вплив на параметри оптичного волокна під час прокладання кабелю, але кілометричне загасання не перевищує норми, отже всі будівельно-монтажні роботи виконувались коректною

3.3 Висновок до розділу

У результаті дослідження втрат у оптичних волокнах згідно розробленої методики виконано дослідження втрат у оптичних волокнах під час вхідного контролю та контролю після прокладки оптичного кабелю. По результатам вимірювання встановлено, що зміни оптичних параметрів стандартних оптичних волоко відбулися, але у межах допустимих норм..

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

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

Дослідження на тему «Методи і засоби оцінювання якості стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю» 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 стандартних одномовних оптичних

волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю» 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 (ПІБ, 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	54	55	52

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

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
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		53,7		

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	0	77	75
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	60	0	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	70,7		

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, $k_{\text{нов}} = 53,7, k_{\text{теор}} = 70,7$ балів; $0,6$ та $0,4$ – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 53,7 + 0,4 \cdot 70,67 = 60,47 \text{ балів.}$$

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 стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю», даний рівень становить 60,47 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 стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю», 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, $T_p=22$ дні.

$$Z_o = 18400.00 \cdot 10 / 22 = 7727,30 \text{ (грн.)}.$$

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	18400.00	772,73	10	7727,30
Науковий співробітник	17950.00	750.00	15	11250.00
Інженер-дослідник	17650.00	681,82	22	15000.04
Фахівець 1-ї категорії	8040.00	365,45	15	5481,82
Всього				39459,16

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Методи і засоби оцінювання якості стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю» розраховуємо за формулою

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

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

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

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою

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

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=8000.00$ (грн.);

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (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 $T_p = 22$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 8000.00 \cdot 1,35 \cdot 1,15 / (22 \cdot 8) = 70,57 \text{ (грн.)}.$$

$$Z_{pl} = 70,57 \cdot 10.00 = 705,68 \text{ (грн.)}.$$

Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погоди на тарифна ставка, (грн.)	Величина оплати на робітника (грн.)
Встановлення допоміжного обладнання	10,00	2	1,35	70,57	705,68
Інсталяція програмного забезпечення	5,60	3	1,50	78,41	439,09
Налагодження засобів системи оцінювання якості	6,50	5	1,35	70,57	458,69
Відлагодження інтерполяційних модулів	4,20	5	1,50	78,41	329,32
Формування цифрової експериментальної моделі оцінювання якості	8,00	4	1,10	57,50	460,00

Продовження таблиці 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Формування структурної схеми взаємозв'язків компонентів системи	8,00	5	1,00	52,27	418,18
Тренування системи	4,32	4	1,50	78,41	338,73
Підбір характеристик компонентів системи	5,60	3	1,35	70,57	395,18
Випробування системи	7,80	2	1,10	57,50	448,50
Всього					3993,38

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

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

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

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

$$Z_{\text{дод}} = (39459,16 + 3993,38) \cdot 10 / 100\% = 4345,25 \text{ (грн.)}.$$

4.2.2 Відрахування на соціальні заходи

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

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

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$3_n = (39459,16 + 3993,38 + 4345,25) \cdot 22 / 100\% = 10515,51 \text{ (грн.)}.$$

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 стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю».

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

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

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

$$M_1 = 4,0 \cdot 195,00 \cdot 1,11 - 0 \cdot 0 = 865,80 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, (грн.)	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, (грн.)/кг	Вартість витраченого матеріалу, (грн.)
Папір Офісний А4 500	195,00	4,0	0	0	865,80
Папір для записів А4 250	144,00	6,0	0	0	959,04
Органайзер офісний	183,00	3,0	0	0	609,39
Канцелярське приладдя	202,00	4,0	0	0	896,88
Картридж для принтера	967,00	2,0	0	0	2146,74
Диск оптичний CD-R	23,00	4,0	0	0	102,12
Flesh-пам'ять 64 GB	189,00	1,0	0	0	209,79
Всього					5789,76

4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_e), які використовують при проведенні НДР на тему «Методи і засоби оцінювання якості стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою

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

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

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

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

$K_6 = 10 \cdot 28,00 \cdot 1,11 = 310,80$ (грн.).

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, (грн.)	Сума, (грн.)
Стандартні одномодові оптичні волокна G652	10	28,00	310,80
Волоконно-оптичний кабель FinMark LT024-SM-05	5	42,00	233,10
Всього			543,90

4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

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

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою

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

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

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

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

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 11748,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 13040,28 \text{ (грн.)}.$$

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.)
Мікроскоп F1VS400U для контролю чистоти оптичних конекторів 1,25 та 2,5 мм (400х кратне збільшення) FIS-F1VS400U	1	11748,00	13040,28
Оптичний рефлектометр Multitest MO1235P	1	27514,00	30540,54
Волоконно-оптичний тестер Wintact WT65	1	1291,00	1433,01
Адаптер голого волокна Multitest BF FC UPC	1	1460,00	1620,60
Механічний сколювач оптичного волокна Fitel S323	1	640,00	710,40
Всього			47344,83

4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

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

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{прог}} \cdot C_{\text{прог},i} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

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

$C_{npr.i}$ – 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.

$$B_{npr} = 7860.00 \cdot 1 \cdot 1,06 = 8331,60 \text{ (грн.)}.$$

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.)
Прикладне програмне забезпечення розробки та моделювання	1	7860.00	8331,60
Пакет Visual System Simulator	1	5250.00	5565,00
Програмне забезпечення для аналізу рефлектограм оптичних волокон	1	6850.00	7261,00
Всього			21157,60

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

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

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

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

T_6 – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (8420.00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 350,83 \text{ (грн.)}.$$

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.)
ОС Windows	8420.00	2	1	350,83
Прикладний пакет Microsoft Office	7350.00	2	1	306,25
Пристрої передачі даних	7690.00	4	1	160,21
Оргтехніка	8260.00	5	1	137,67
Приміщення лабораторії досліджень	426000.00	30	1	1183,33
Робоче місце інженера-дослідника	8320.00	7	1	99,05
Медіапроектор візуалізації моделювання контролю якості	22840.00	5	1	380,67
ЕОМ типу НОУТБУК HP 250 G8 (2W8X8EA)	27460.00	3	1	762,78

Продовження таблиці 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Прикладне програмне забезпечення проектування	9680.00	2	1	403,33
ЕОМ для формування та дослідження моделей (КОМП'ЮТЕР VINGA WOLVERINE A5257 (I5M16G1650.A5257))	27890.00	4	1	581,04
Всього				4365,16

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, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0.05 \cdot 192,0 \cdot 10,98 \cdot 0,95 / 0,97 = 105,41 \text{ (грн.)}.$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.11.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, (грн.)
Пристрої передачі даних	0.05	192,0	105,41
Оргтехніка	0,42	50.0	230,58
Пристрої відображення інформації	0,25	11,0	30,20
Робоче місце інженера-дослідника	0.06	192,0	126,49
Медіапроектор візуалізації моделювання	0,36	100.0	395,28
ЕОМ типу НОУТБУК HP 250 G8 (2W8X8EA)	0.03	150.0	49,41
ЕОМ для формування та дослідження моделей (КОМП'ЮТЕР VINGA WOLVERINE A5257 (I5M16G1650.A5257))	0,25	150.0	411,75
Всього			1349,11

4.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю» 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

$$I_{\text{с}} = (Z_{\text{о}} + Z_{\text{р}}) \cdot \frac{H_{\text{іс}}}{100\%}, \quad (4.13)$$

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

$$I_{\text{с}} = (39459,16 + 3993,38) \cdot 50 / 100\% = 21726,27 \text{ (грн.)}.$$

4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

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

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

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

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

$$B_{нзв} = (39459,16 + 3993,38) \cdot 100 / 100\% = 43452,53 \text{ (грн.)}.$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою

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

$$B_{заг} = 39459,16 + 3993,38 + 4345,25 + 10515,51 + 5789,76 + 543,90 + 47344,83 + 21157,60 + 4365,16 + 1349,11 + 0.00 + 0.00 + 21726,27 + 43452,53 = 204042,46 \text{ (грн.)}.$$

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

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

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

$$ЗВ = 204042,46 / 0,95 = 214781,54 \text{ (грн.)}.$$

4.3 Оцінювання важливості і 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 стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю» 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 $B = 214781,54$ (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]

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^3 \cdot 2 \cdot 4 / 214,8 \cdot 0.08 = 28,61.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Методи і засоби оцінювання якості стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю» 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 стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю» складають 214781,54 (грн.). Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Методи і засоби оцінювання якості стандартних одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних довжин оптичного кабелю» 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 стандартних одномодових оптичних волокон під час будівництва та монтажу кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку.

Результати роботи продемонстрували, що у оптичних волокнах можуть виникати додаткові втрати опитного сигналу зумовлені недостатньо досконалою технологією виготовлення оптичних кабелів, механічними навантаженням безпосередньо на оптичний кабель під час його прокладання та монтажу, а також погіршенням характеристик оптичних волокон із-за статичних надлишкових навантажень на опитний кабель.

Для оцінки якості стандартних одномодових оптичних волокон запропоновано комплексний підхід, який включає оцінювання розподілених по всій довжині оптичного волокна втрат методом зворотного розсіювання засобами оптичної рефлектометрії на різних етапах виконання будівельно-монтажних робіт.

За результатами досліджень сформульовані рекомендації щодо контролю якості стандартних одномодових волокон з допомогою сучасних засобів метрологічного контролю, які можуть використовуватись будівельно-монтажними організаціями та операторами зв'язку для забезпечення надійності та зменшення втрат у кабельних волоконно-оптичних ліній зв'язку.

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каток В.Б., Руденко І.Е., Однорог П.М. Волоконно-оптичні лінії зв'язку. Київ: 2016. 445 с
2. Онищук О.В. Аналіз загасання у волоконно-оптичній лінії зв'язку / О.В. Онищук, К.О. Коваль // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. - 2014. - № 2. - С. 129-133.
3. КНД 45-141-99. Керівництво щодо будівництва лінійних споруд волоконно-оптичних ліній зв'язку. Керівний нормативний документ держкомзв'язку та інформатизації України. – К., 1999. – 188 с.
4. Онищук О.В. Комп'ютерні мережі : навчальний посібник / О.С. Городецька, В.А. Гикавий, О.В.Онищук. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 128 с.
5. Онищук О.В. Методи і засоби оцінювання якості роз'ємних з'єднань волоконно-оптичних ліній зв'язку / О.В. Онищук., О.П. Червак // Сучасні проблеми інфокомунікацій, радіоелектроніки та наносистем: IX Міжнародна наук.-техн. конф., 15-17 листопада 2023 р. – Вінниця, 2023. – С. 62.
6. SPFIP400.9AN / User Manual FIP-400 Fiber inspection probe EXFO. – 2011. – 56 с.
7. 780000102/05 User Manual OTDR MTS 8000 Acterna. - 2005. - 118 с
8. Вакуленко О.В., Могилевич Д.І., Фомін М.М., Явіся В.С. Волоконно-оптичні лінії передачі. Київ : ВІТІ, 2017. 297 с.
9. Балашов В.О., Лашко А.Г., Ляховецький Л.М., Орешков В.І. Проектування та експлуатація сучасних мереж широкосмугового доступу: навч. посіб. для дипломного проектування та магістерських робіт. Одеса: РВЦ ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2019. 267 с.
- 10.Осадчук В.С., Осадчук О.В. Волоконно-оптичні системи передачі інформації. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 132с.
11. Осадчук В.С., Осадчук О В. Волоконно-оптичні системи передачі. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2005. – 225с.
12. Осадчук В.С., Осадчук О.В. Напівпровідникові прилади з від'ємним

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Вінниця : ВНТУ, 2015. – 113 с.

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

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

Додаток А

(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНИЙ МАТЕРІАЛ

МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ СТАНДАРТНИХ ОДНОМОВНИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН НА ЕТАПІ ВХІДНОГО КОНТРОЛЮ БУДІВЕЛЬНИХ ДОВЖИН ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ

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

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Куцурук В.В.

(прізвище та ініціали)

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

Онищук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 12 » 12 2024 р.

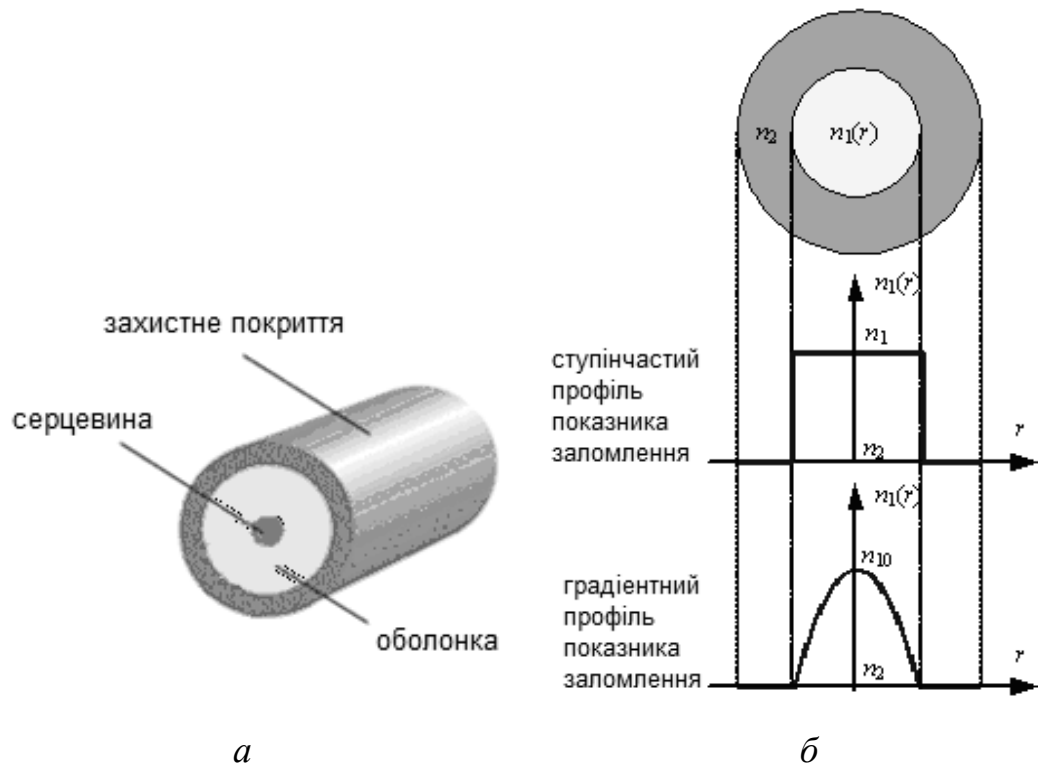


Рисунок 1 – Структура (а) та профіль показника заломлення (б) оптичного волокна

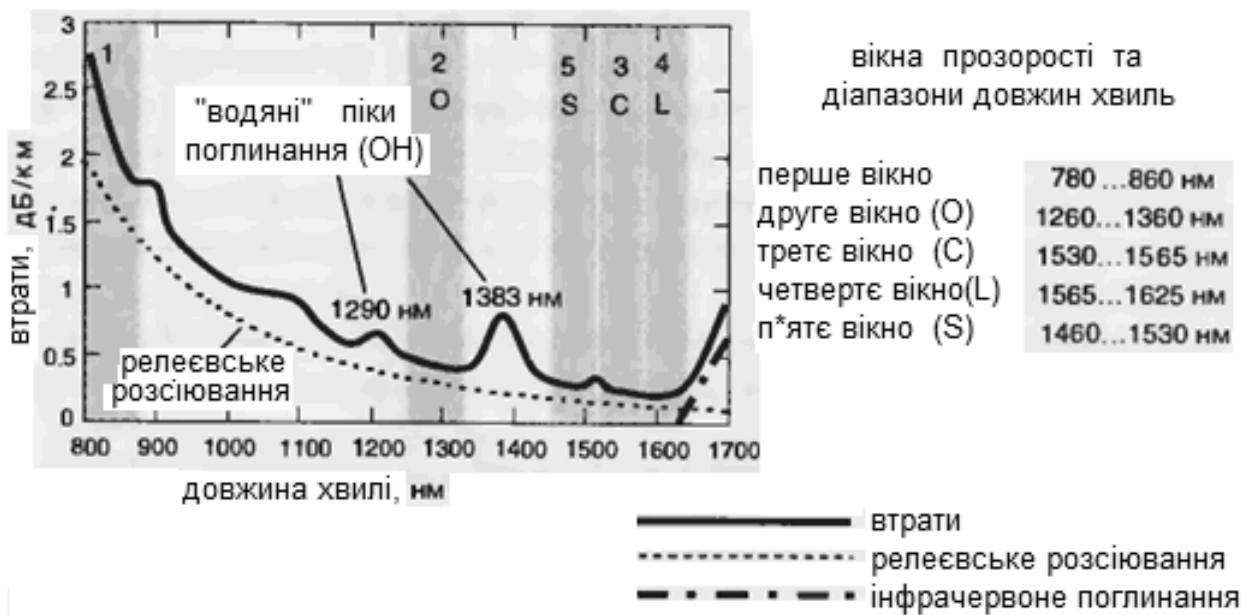


Рисунок 2 – Залежність коефіцієнта згасання від довжини хвилі та виду вікон прозорості оптичного волокна

Таблиця 1 - Характеристики одномодових оптичних волокон

Позначення		SM – 9 / 125	All Wave	True Wave	True Wave
Тип оптичного волокна		SSF	NZDSF	NZDSF	NZDSF
Стандарт ІТУ-Т		G , 652	G , 655	G , 655	G , .655
Геометричні параметри					
Діаметр модової плями, мкм на:					
$\lambda = 0,85$ мкм		9.3 ± 0.5	9.3 ± 0.5	-	-
$\lambda = 1,30$ мкм		10.5 ± 1.0	10.5 ± 1.0	8.4 ± 0.6	8.4 ± 0.6
Довжина хвилі відсічки, нм	у волокні	1150 ... 1350	-	-	-
	у кабелі	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260	≤ 1260
Діаметр оболонки, мкм		$125,0 \pm 10$	$125,0 \pm 10$	$125,0 \pm 10$	$125,0 \pm 10$
Діаметр покриття, мкм		$245,0 \pm 10$	$245,0 \pm 10$	$245,0 \pm 10$	$245,0 \pm 10$
Дисперсійні параметри					
Довжина хвилі нульової дисперсії, нм		1300 ... 1322 (1312 нм)	1300 ... 1322	1540 ... 1560	>1450
Коефіцієнт хроматичної дисперсії, пс/(нм·км)		≤ 18 (1550 нм)	-	0,8 ... 4,6 (1550 нм)	-9 (1310 нм) 4,52 (1550 нм)
Поляризаційна модова дисперсія, пс/ $\sqrt{\text{км}}$		< 0,2	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$ (1550 нм)	$\leq 0,5$ (1550 нм)
Коефіцієнт загасання, дБ/км					
Максимальний на:					
$\lambda = 0,85$ мкм		0,35 ... 0.40	0,35 ... 0.40	-	-
$\lambda = 1,30$ мкм		0,21 ... 0.30	0,2 ... 0.25	0,2 ... 0.25	0,22 ... 0.25
Максимальний у діапазоні (1285 - 1330) нм перевищує загасання на $\lambda=1310$ нм		Менш ніж на 0,1	Менш ніж на 0,1	-	-
Максимальний у діапазоні (1,525 – 1,575) нм перевищує загасання на $\lambda = 1,55$ мкм		Менш ніж на 0.05	Менш ніж на 0.05	Менш ніж на 0,3	Менш ніж на 0,27-0,3
Загасання в піку ОН (1383 $\pm$ 3) нм		< 2,0	< 0,31	< 1,0	< 2,0

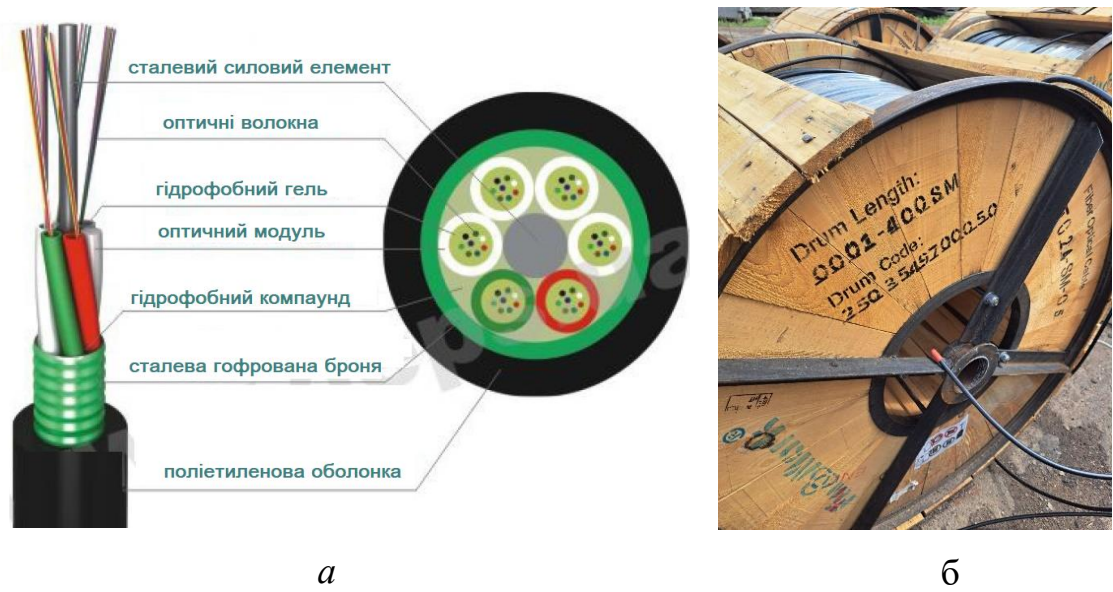


Рисунок 3 – Оптичний кабель FinMark LT24-SM-05:
а – конструктивні елементи оптичного кабелю;
б – барабани із намотаними будівельним довжинами кабелю

TEST REPORT

For Optical Fiber Cable (Single Mode ITU-T Re.G.652D)

Model & Size	FinMark LT024-SM-05		Drum No.	 * 2 5 0 5 5 0 8 8 0 0 0 6 7 *		
Cable Length	0001m-4013m			35/50		
Cable Diameter	Φ 8. 6mm		Test Date	2024.05.29		
Tube No.	Fiber Color Code	Attenuation (dB/km)				
		@1310nm	@1383nm	@1550nm	@1625nm	
1#Blue	Blue	0. 343		0. 191		
	Orange	0. 336		0. 194		
	Green	0. 333		0. 194		
	Brown	0. 334		0. 202		
	Gray	0. 342		0. 192		
	White	0. 333		0. 197		

Рисунок 4 – Паспорт на оптичний кабель FinMark LT24-SM-05:

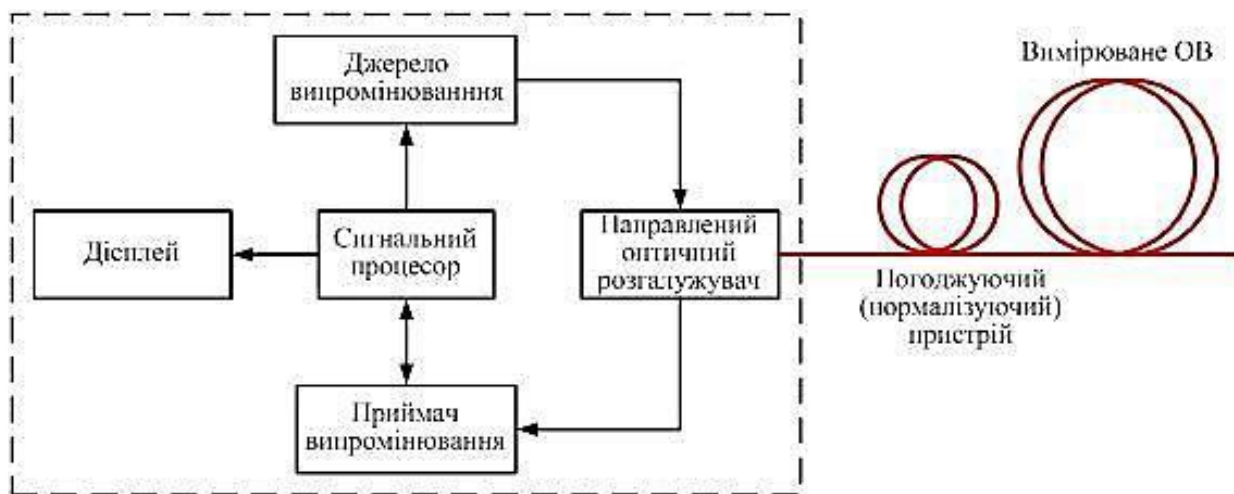


Рисунок 5 — Установка для вимірювання методом зворотного розсіювання

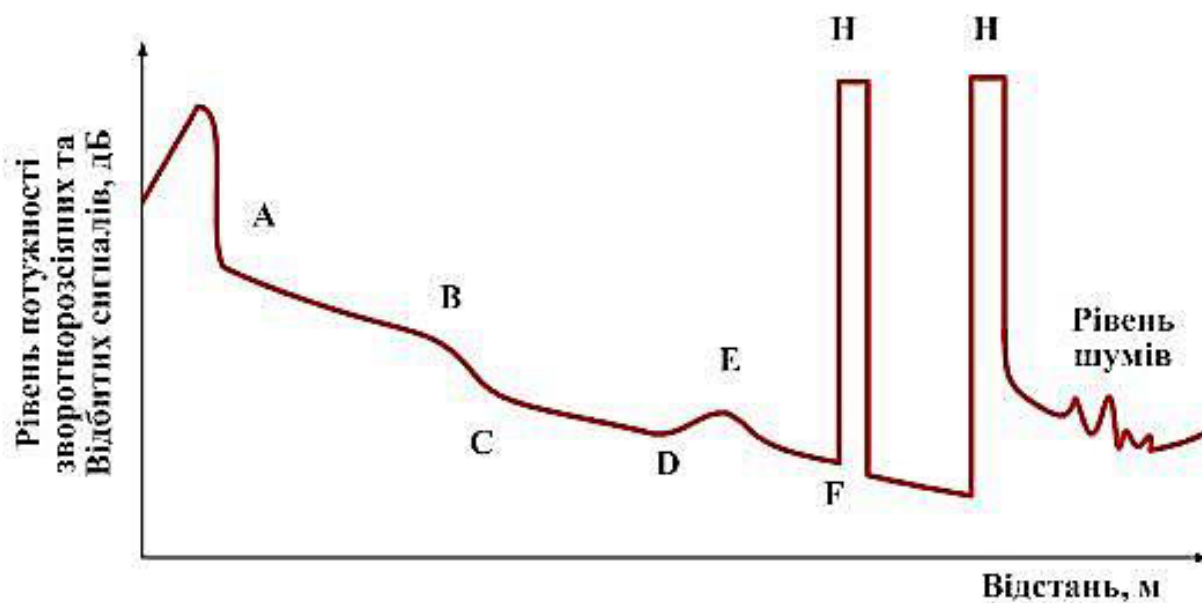


Рисунок 6 — Крива розсіяного у зворотному напрямку та/або відбитого випромінювання

Засоби вимірювання втрат у оптичному волокні

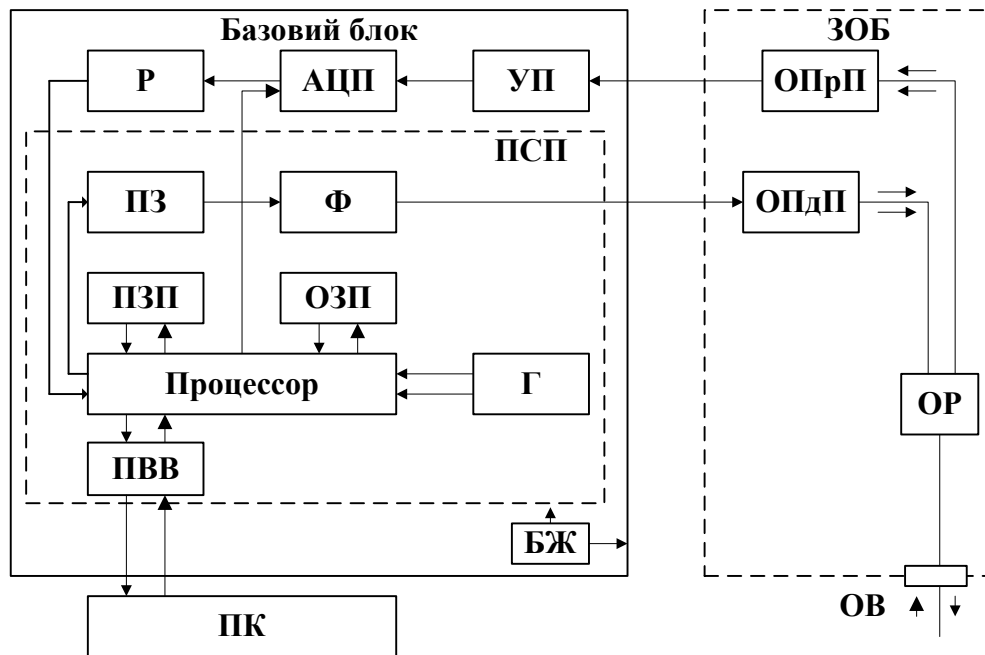
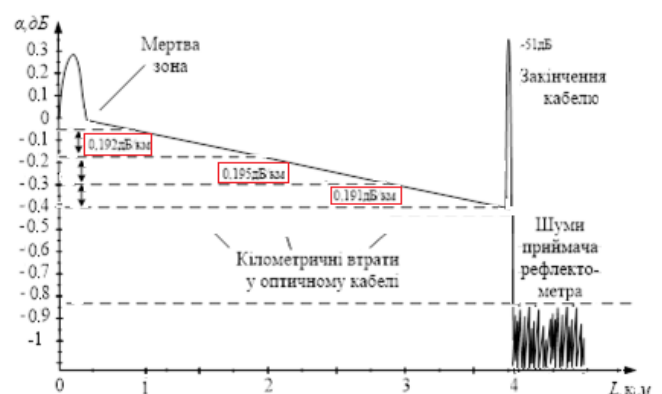


Рисунок 7 – Структурна схема оптичного рефлектометра:

Р – регістр; АЦП - аналого-цифровий перетворювач; УП - узгоджувальний підсилювач; ПЗ - пристрій зсуву; Ф – формувач; ПЗП - постійний запам'ятовувальний пристрій; ОЗП - оперативний запам'ятовувальний пристрій; Г – генератор; ПВВ - пристрій введення-виведення; П - процесор; ЗОБ - змінний оптичний блок; ОР – оптичний розгалужувач; БЖ – блок живлення; ПК – персональний комп'ютер; ОВ -оптичне волокно.



а



б

Рисунок 8 – Оптичний рефлектометр JDSU MTS 8000 (а) та відповідна рефлектограма (б)

Таблиця 2 - Етапи вимірювань та випробувань оптичних волокон

№	Назва етапу	Параметри, які аналізуються	Протоколи	Вимірювальні прилади
1	Вхідний контроль оптичного кабелю	Коефіцієнт загасання, Оптична довжина, Дисперсійна крива розподілу	Протокол вхідного контролю	Оптичний імпульсний рефлектометр
2	Контроль після прокладання оптичного кабелю	Коефіцієнт загасання, Оптична довжина, Дисперсійна крива розподілу	Протокол контролю після прокладання	Оптичний імпульсний рефлектометр

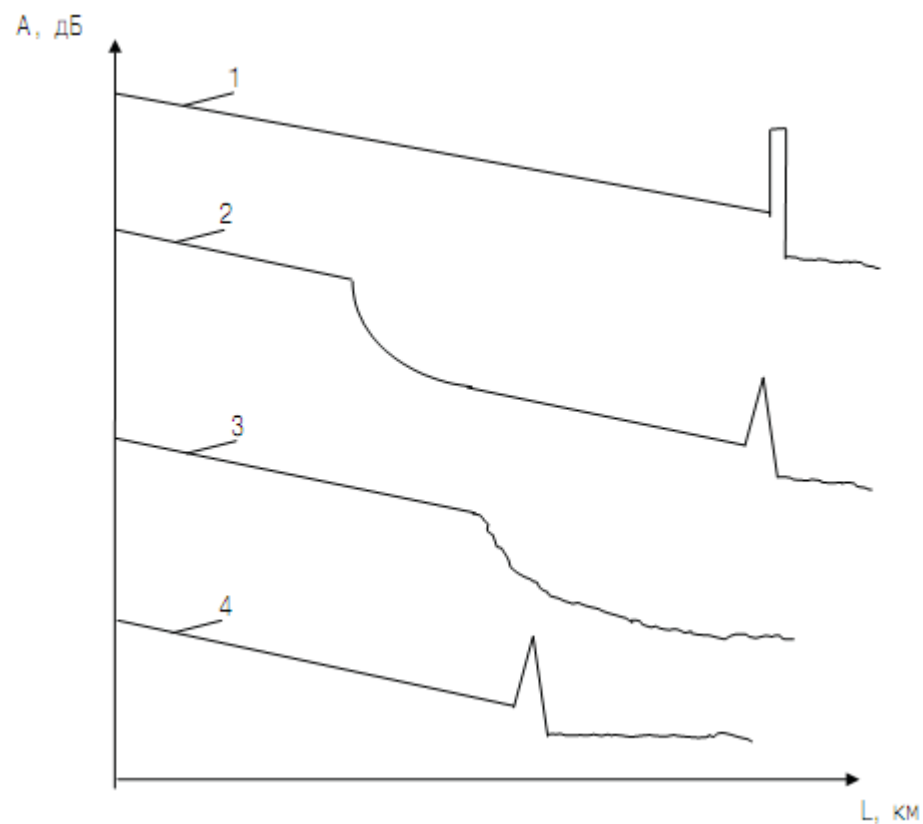


Рисунок 9 - Приклади рефлектограм: 1 - непошкоджене оптичне волокно; 2 - наявність мікротріщини у оптичному кабелі; 3 - обрив оптичного волокна у оптичному кабелі; 4 - обрив оптичного волокна у оптичному кабелі

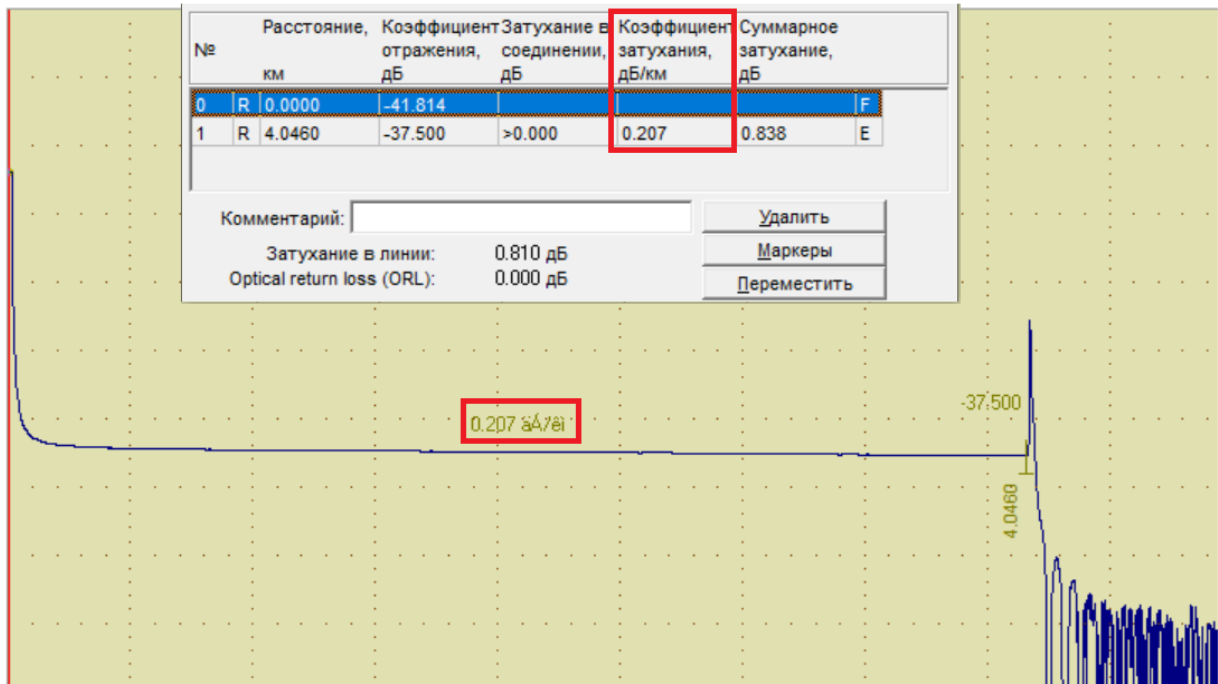


Рисунок 10 - Приклад рефлектограма оптичного волокна, отриманої під час вхідного контролю кабелю кабелю FinMark LT024-SM-05

			ПРОТОКОЛ					
			вхідного контролю ОК					
Марка ОК		FinMark LT024-SM-05						
№ барабана	2503549700003	Фізична довжина ОК по паспорту,м						4008
Мітки ОК	0001-4008	Фізична довжина ОК по факту,м						4008
Модель рефлектометра		MTS 8000			Серійний №		02090	
Коефіцієнт заломлення		1550 нм		1,4670		Тривалість імпульсу , мс		10
		1310 нм		1,4660				

Колір		№	Оптична	Загасання, дБ / км 1310нм		Оптична	Загасання, дБ /км 1550нм	
		ОВ	довжина	за		довжина	за	
ОМ	ОВ		ОВ,м	паспортом	фактичне	ОВ,м	паспортом	фактичне
	Синій	1	4035	0,332	0,296	4035	0,194	0,186
1	Помаранчевий	2	4035	0,331	0,316	4035	0,197	0,189
модуль	Зелений	3	4034	0,333	0,316	4034	0,188	0,182
Синій	Коричневий	4	4036	0,331	0,295	4036	0,189	0,184
	Сірий	5	4034	0,338	0,304	4034	0,199	0,180
	Білий	6	4034	0,336	0,284	4034	0,198	0,189
	Синій	7	4038	0,325	0,315	4038	0,191	0,187

Рисунок 11 - Приклад протоколу вхідного контролю кабелю кабелю FinMark LT024-SM-05

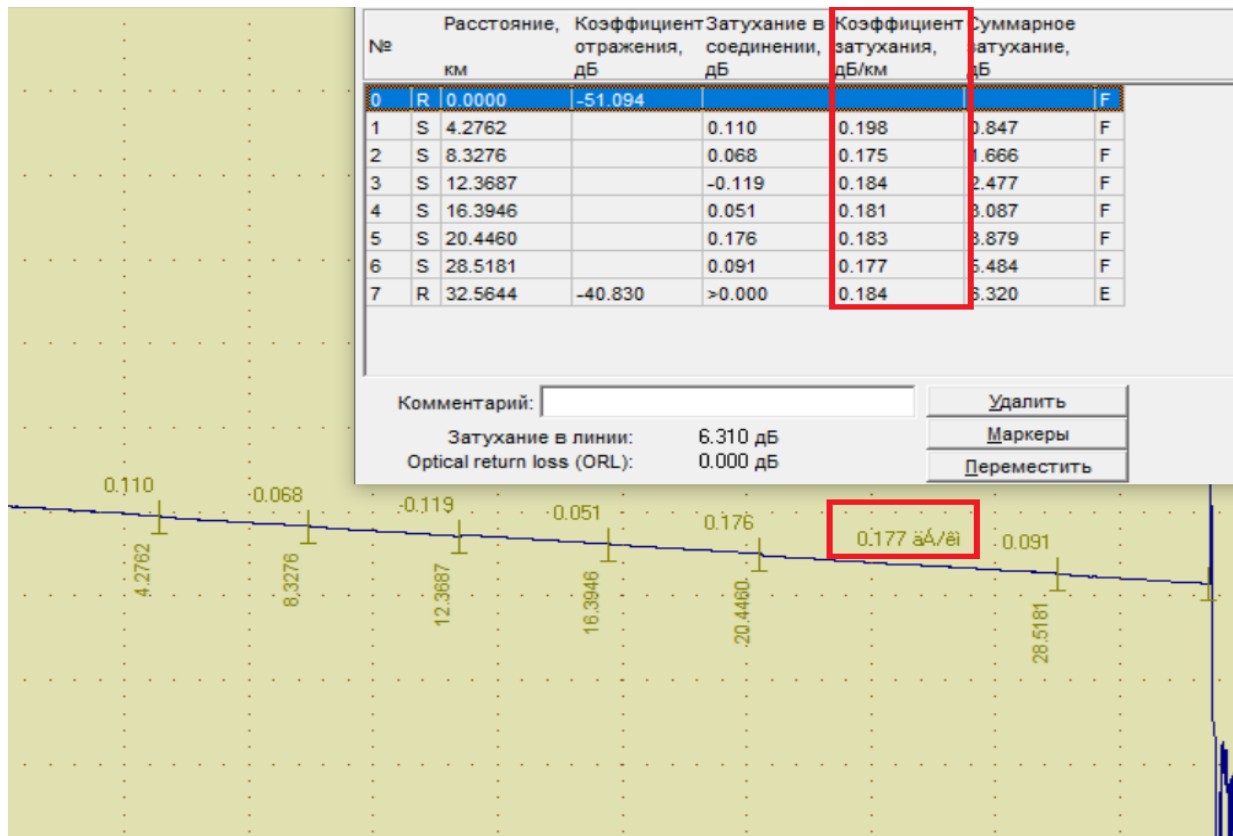


Рисунок 12 - Приклад рефлектограми оптичного волокна, отриманої під час контролю після прокладання кабелю FinMark LT024-SM-05

			ПРОТОКОЛ						
		контролю оптичного кабелю після прокладання							
Марка ОК		FinMark LT024-SM-05							
№ барабана	25005508800053	Фізична довжина ОК по паспорту,м					4010		
Мітки ОК	0001-4010	Фізична довжина ОК по факту,м					4010		
Модель рефлектометра		MTS 8000		Серійний №			02090		
Коефіцієнт заломлення		1550 нм	1,4670	Тривалість імпульсу , мс			10		
		1310 нм	1,4660						
Колір		№	Оптична	Загасання, дБ / км 1310нм		Оптична	Загасання, дБ / км 1550нм		
		ОВ	довжина	за	фактичне	довжина	за	фактичне	
ОМ	ОВ		ОВ,м	паспортом		ОВ,м	паспортом		
	Синій	1	4042	0,332	0,335	4042	0,194	0,181	
1	Помаранчевий	2	4042	0,331	0,298	4042	0,197	0,187	
модуль	Зелений	3	4042	0,333	0,310	4042	0,188	0,184	
Синій	Коричневий	4	4043	0,331	0,298	4043	0,189	0,187	
	Сірий	5	4041	0,338	0,282	4041	0,199	0,187	
	Білий	6	4042	0,336	0,301	4042	0,198	0,181	
	Синій	7	4046	0,325	0,303	4046	0,191	0,182	

Рисунок 13 - Приклад протоколу контролю після прокладання кабелю FinMark LT024-SM-05

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ

**МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ СТАНДАРТНИХ
ОДНОМОВНИХ ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН НА ЕТАПІ ВХІДНОГО
КОНТРОЛЮ БУДІВЕЛЬНИХ ДОВЖИН ОПТИЧНОГО КАБЕЛЮ**

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

Назва роботи: «Методи і засоби оцінювання якості стандартних
одномовних оптичних волокон на етапі вхідного контролю будівельних
довжин оптичного кабелю»

Тип роботи: МКР
(БДР, МКР)

Підрозділ ІРТС, ІЕС
(кафедра, факультет)

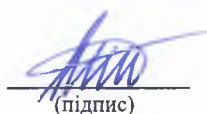
Показники звіту подібності Turnitin

Оригінальність 85,0% Схожість 15,0%

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)

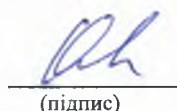
Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Turnitin щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Віталій КУЦУРУК
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Олег ОНИЩУК
(прізвище, ініціали)