

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
Факультет інформаційних технологій
Кафедра безпеки інформації та телекомунікацій

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

студента *Зеленського Дмитра Олеговича*

академічної групи *172-1бзск-1*

спеціальності *172 Телекомунікації та радіотехніка*

спеціалізації¹

за освітньо-професійною програмою *Телекомунікації та радіотехніка*

на тему *Розробка волоконно-оптичної системи передачі для приміського*

селища

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.			
розділів:				
спеціальний	д.т.н., проф. Корнієнко В.І.			
економічний	к.е.н., доц. Романюк Н.М.			
Рецензент				
Нормоконтролер	к.ф.-м.н., проф. Гусєв О.Ю.			

Дніпро
2019

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
безпеки інформації та телекомунікацій
_____ д.т.н., проф. Корнієнко В.І.

« _____ » _____ 20 ____ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавра

студенту Зеленському Дмитру Олеговичу академічної групи 172-16зск-1
(прізвище ім'я по-батькові) (шифр)

спеціальності 172 Телекомунікації та радіотехніка
(код і назва спеціальності)

на тему Розробка волоконно-оптичної системи передачі для приміського селища

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____

Розділ	Зміст	Термін виконання
Розділ 1	На даному етапі проектування повинно бути наведено обґрунтування доцільності вибору ВОСП. Необхідно розробити схему організації зв'язку, встановити конфігурацію технічних засобів і умови експлуатації.	20.03.2019
Розділ 2	Виконати розрахунок основних параметрів волоконних світловодів, довжини регенераційної ділянки; Розглянути питання прокладки і монтажу оптичного кабелю.	30.05.2019
Розділ 3	Виконати розрахунок капітальних витрат, поточних експлуатаційних витрат, річного економічного ефекту, річного прибудку, визначення економічної ефективності.	15.06.2019

Завдання видано

(підпис керівника)

Корнієнко В.І.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі: 08.01.2019р.

Дата подання до екзаменаційної комісії: 17.06.2019р.

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Зеленський Д.О.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: ___ с., ___ рис., ___ табл., ___ додатків, ___ джерел.

Об'єкт розробки: волоконо-оптична лінія зв'язку.

Мета дипломного проекту: розробка волоконно-оптичної мережі зв'язку селища Любимівка.

У вступі розглянуто історичний розвиток волоконно-оптичної системи передачі інформації.

В загальній частині висловлені загальні відомості сільській місцевості, також був виконаний огляд системи передачі ІКМ-480-5.

В спеціальній частині розроблена волоконно-оптична лінія зв'язку між селищем Любимівка і житловим масивом Придніпровськ.

В економічному розділі вироблений розрахунок капітальних витрат, а також був проведений розрахунок річного економічного ефекту, річного прибутку, економічної ефективності.

Практичне значення роботи полягає в розробці волоконний-оптичної мережі зв'язку між селищем Любимівка та житловим масивом Придніпровськ.

**ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ, ОПТИЧНИЙ КАБЕЛЬ,
ЦИФРОВА СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ.**

РЕФЕРАТ

Пояснительная записка: ___ с., ___ рис., ___ табл., ___ приложений ___ источников.

Объект разработки: волоконно-оптическая линия связи.

Цель дипломного проекта: разработка волоконно-оптической сети связи поселка Любимовка.

Во введении рассмотрено историческое развития волоконно-оптической системы передачи информации.

В общей части изложены общие сведения сельской местности, также выполнен обзор системы передачи ИКМ-480-5.

В специальной части разработана волоконно-оптическая линия связи между поселком Любимовка и жилым массивом Приднепровск.

В экономическом разделе произведен расчет капитальных расходов, а также произведен расчет годового экономического эффекта, годовой прибыли, экономической эффективности.

Практическое значение работы заключается в разработке волоконно-оптической сети связи между поселком Любимовка и жилым массивом Приднепровск.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЕ ЛИНИИ СВЯЗИ, ОПТИЧЕСКИЙ КАБЕЛЬ, ЦИФРОВАЯ СИСТЕМА ПЕРЕДАЧИ.

ABSTRACT

Explanatory slip: __ with., ___ fig., __ tab., __ applications, ___ sources.

Object of development: fiber-optical flow line.

Purpose of diploma project: development the fiber-optical communication network of the Lyubimovka settlement.

In introduction the history is considered development the fiber-optical system of information transfer.

The general part contains general information about the countryside, and the review of the PCM-480-5 transmission system.

In the special part is developed fiber-optical flow line between the Lyubimovka settlement and dwelling array Pridneprovsk.

In an economic section the computation of capital charges is produced, and computation of annual economic effect, annual income, economic efficiency is produced.

The practical value of work consists in development the fiber-optical communication network between the Lyubimovka settlement and dwelling array Pridneprovsk.

FIBER-OPTICAL FLOW LINES, OPTICAL CABLE, DIGITAL SYSTEM OF TRANSMISSION.

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АЦО – аналого-цифрове обладнання;
- ВОЛЗ – волоконно-оптична лінія зв'язку;
- ВОСП – волоконно-оптичні системи передачі;
- ВС – волоконний світловод;
- ІКМ – імпульсна кодова модуляція;
- КЛТ – комплект лінійного тракту;
- ОВ – оптичне волокно;
- ОК – оптичний кабель;
- ОСП – обладнання світловодних перемикань;
- ОТГ – обладнання третинного групоутворення;
- СКУ – комплект стійкових уніфікованих каркасів;
- СТЗ – сільський телефонний зв'язок;
- ТЧ – тональної частоти;
- УСО – уніфіковане сервісне обладнання;
- ЦСП – цифрові системи передачі.

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ	10
1.1 Обґрунтування доцільності вибору ВОСП.....	10
1.1.1 Характеристика селища.....	10
1.1.2 Розвиток телефонного зв'язку в сільській місцевості	10
1.2 Волоконно-оптичні системи передачі	11
1.2.1 Волоконно-оптична система передачі ІКМ-480-5.....	12
1.2.2 ІКМ-480-5 з блоком ОТГ-35	13
1.3 Постановка задачі.....	21
1.4 Висновки	21
РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	22
2.1 Вибір типу волоконо-оптичного кабелю	22
2.2 Розрахунок основних параметрів волоконних світловодів.	25
2.2.1 Розрахунок основних параметрів волоконних світловодів	25
2.2.2 Розрахунок дисперсії волоконних світловодів	32
2.3 Розрахунок довжини регенераційної ділянки.	41
2.3.1 Розрахунок довжини регенераційної ділянки за часовими характеристиками.....	41
2.3.2 Розрахунок довжини регенераційної ділянки за енергетичними характеристиками.....	42
2.4 Прокладка оптичного кабелю	48
2.5 Монтаж оптичного кабелю.....	52
2.6 Вимірювання при технічній експлуатації ВОЛЗ	59
2.7 Висновок	71
РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	72
3.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування ВОСП.....	72
3.2 Розрахунок капітальних витрат	72

3.2.1 Розрахунок капітальних витрат для першого варіанту організації зв'язку.....	72
3.2.2 Розрахунок капітальних витрат для другого варіанту організації зв'язку.....	75
3.3 Розрахунок поточних експлуатаційних витрат.....	76
3.3.1 Розрахунок поточних експлуатаційних витрат для апаратури ІКМ-120-5.....	77
3.3.2 Розрахунок поточних експлуатаційних витрат для апаратури ІКМ-480-5 з блоком ОТГ-35.....	80
3.4 Визначення показника річного економічного ефекту, річного прибутку, економічної ефективності	82
3.5 Вибір оптимального варіанту	84
3.6 Висновок	84
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	86
ДОДАТОК А.....	87
ДОДАТОК Б	88
ДОДАТОК В	89
ДОДАТОК Г	90

ВСТУП

Зв'язок означає обмін інформацією. Основною задачею зв'язку є обмін інформацією між двома партнерами. Для реалізації цього індивідуального зв'язку на великі відстані без транспортування механічного носія інформації, з моменту винаходу телеграфу, використовували електричний струм в лініях, а потім високочастотні електромагнітні коливання. Таким чином, люди можуть посилати один одному тексти (телеграф), розмовляти один з одним (телефон), а також обмінюватись по електричним трактам рисунками та зображеннями (факсимільна техніка, відеотелефон).

З розвитком електронних обчислювальних машин (ЕОМ) виникає потреба в передачі інформації між людиною та ЕОМ, а також між ЕОМ (передача даних).

Поважне місце в комплексі засобів електронного зв'язку займає телефонний зв'язок, як найоперативніший та наймасовіший вид зв'язку.

Телефонна мережа є найбільш розповсюдженою. Кожний абонент цієї мережі шляхом додавання відповідного пристрою може не тільки розмовляти, але й здійснювати факсимільний зв'язок, передавати дані.

Останні десятиріччя визначаються бурхливим розвитком і впровадженням на мережах зв'язку волоконно-оптичних систем передачі інформації (ВОСП).

Вважається, що ера оптичного зв'язку бере початок у 60-х р., коли винайшли лазер.

В середині 70-х років починається впровадження ВОСП. Сьогодні майже всі нові лінії зв'язку – оптичні. Волоконно-оптичні кабелі зараз використовуються в системах дальнього зв'язку, локальних обчислювальних мережах, у телеметрії та телемеханіці.

У другій половині 80-х років почалися роботи по впровадженню волоконно-оптичних кабелів на абонентські мережі. Одночасно починаються роботи по будівництву оптичних комутаційних телефонних станцій.

Переваги використання оптичних кабелів обумовлені тим, що в електричних кабелях провідники схильні до електромагнітних завад і погано сполучаються з силовими лініями передачі електроенергії, на їх виготовлення потрібна велика кількість кольорових металів, а інформаційні сигнали сильно загасають. В оптичних кабелях зв'язку всі ці недоліки майже відсутні.

Проектуєма міжстанційна волоконно-оптична лінія зв'язку (ВОЛЗ) дозволить організувати необхідну кількість каналів і значно покращить якість роботи мережі зв'язку даного селища.

В даному дипломному проекті розглянуте питання розрахунку основних параметрів волоконного світловоду, а також питання прокладки і монтажу оптичного кабелю. Як додаткове питання, розглянут комплекс вимірювань параметрів ВОЛЗ при експлуатації. Для організації зв'язку між АТС використовується цифрова система передачі ІКМ-480-5. У виконаному техніко-економічному обґрунтуванні проектних рішень доведена їх технічна ефективність.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Обґрунтування доцільності вибору ВОСП

1.1.1 Характеристика селища

Селище Любимівка – одне з розвинутих селищ Дніпропетровської області, географічно розташоване в центральній частині України біля річки Дніпро.

Територія понад 9 кв. км, населення – 6 тис. мешканців.

Клімат міста помірно-континентальний, м'який. Середня температура січня мінус 6, липня – плюс 20 градусів.

Селище Любимівка – один з промислових та культурних центрів Дніпропетровської області з розвиненою деревообробною і аграрною промисловістю. В структурі промислового виробництва провідне місце займає аграрна отрасль.

Завдяки своєму географічному положенню, це значний транспортний вузол, що забезпечує як зовнішні, так і внутрішні перевезення автомобільним транспортом.

Волоконно-оптична лінія зв'язку проектується між двома станціями.

Для підвищення якості зв'язку, надання абонентам нових видів послуг необхідне провести заміну аналогової АТС на ЕАТС. Наявність великої чисельності населення, зайнятих в основному у сфері тваринництва, селянських господарств і приватних підприємств приведе до значного збільшення числа абонентів. Очікуване підвищення доходів дозволить скоротити термін окупності мережі.

1.1.2 Розвиток телефонного зв'язку в сільській місцевості

На сьогоднішній день в сільській місцевості рівень телефонізації в декілька разу нижче, ніж в місті. В першу чергу це пояснюється збитковістю сільського телефонного зв'язку (СТЗ), основними причинами якої є: віддаленість частини абонентів від АТС, внаслідок чого витрати на її експлуатацію і розвиток в три і сім раз перевищують середньорічні доходи;

нечисленність абонентних груп; складність прогнозування зростання місткості в населених пунктах, а також інші чинники, не сприяючі зацікавленості операторів зв'язку в розвитку СТЗ.

Разом з тим, аналіз показує, що витрати на телефонізацію села окупаються в два - три рази швидше, ніж міста, і якщо всі соціальні і економічні чинники при отриманні доходів операторами зв'язку, користувачами засобів зв'язку і суспільством в цілому (регіон, держава) розглядати в сукупності, то стає очевидним, що рентабельність СТЗ досягається вже при густині 14-16 телефонних апаратів (ТА) на 100 чоловік. Не можна скидати з рахунків і той факт, що наявність розвинутої інфраструктури сільського зв'язку у великій мірі сприяє підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва.

Виходячи з того, що наявність необхідних засобів телефонного зв'язку СХП є найважливішою умовою підвищення життєдіяльності сільського населення і зростання виробництва сільськогосподарської продукції, що відсутність цих засобів не дозволить подолати кризовий стан в агропромисловому комплексі (АПК). Як перший крок повинна бути прийнятий програма розвитку телефонного зв'язку в сільській місцевості, яка дозволить створити в АПК гнучку і економічну інформаційну структуру, що охоплює всі ланки виробництва і переробки сільськогосподарської продукції і надаючи управлінським структурам і населенню нові інформаційні послуги.

Однієї з основних задач регіональних підприємств зв'язку і СХП повинен стати відробіток механізму інвестування в розвиток телекомунікаційних сітей, а слідством його реалізації послідовне зростання прибутковості телефонної сіті і району в цілому завдяки збільшенню кількості і видів послуг зв'язку і інформатизації, що окупається за рахунок збільшення виробництва сільськогосподарської продукції.

1.2 Волоконно-оптичні системи передачі

Волоконно-оптичні системи передачі - це перспективні технології, які зараз мають великий попит.

Для волоконно-оптичного зв'язку притаманні наступні особливості [1]:

- мале значення коефіцієнту загасання в широкій смузі передаваних частот, тобто ВОЛЗ забезпечують високу пропускну спроможність і великі довжини регенераційних ділянок, що дозволяє майже завжди при організації міжстанційних з'єднувальних ліній розміщувати лінійні регенератори в будівлях АТС і відмовитись від необхідності організації дистанційного живлення;
- висока завадостійкість від зовнішніх електромагнітних полів, які створюються лініями електропередачі й електрофікованими залізницями, внаслідок чого не потрібне використання спеціального захисту;
- повна відсутність перехресних завад між окремими волокнами, що прокладені разом у кабелі;
- малі маси та габарити;
- відсутність випромінювання у зовнішнє середовище, що практично виключає можливість несанкціонованого доступу до передаваної інформації і гарантує прихованість передачі без використання спеціальних засобів;
- повне електричне ізолювання між входом та виходом системи зв'язку, тому не потрібне загальне заземлення передавача та приймача, що дозволяє робити ремонт оптичного кабелю не вимикаючи обладнання;
- мала металоємність і, як наслідок, невелика вартість при масовому виробництві порівняно з металевими кабелями, у виробництві яких використовуються дорогі кольорові метали (мідь, свинець).

В даному дипломному проекті для організації зв'язку використовується волоконно-оптична система передачі ІКМ-480-5 з обладнанням третинного часового групоутворення ОТГ-35.

1.2.1 Волоконно-оптична система передачі ІКМ-480-5

Апаратура ІКМ-480-5 належить до плезіохронної ієрархії цифрових систем передачі.

Цифрові системи передачі мають деякі особливості:

- можливість створення єдиної інтегральної системи зв'язку;
- простота технологій виробництва;
- автоматизація передачі даних;
- можливість безпосереднього вводу і швидкісної обробки імпульсної інформації за допомогою електронно-обчислювальної машини;
- велика дальність зв'язку.

Система ІКМ-480-5 (третинна цифрова система передачі п'ятого покоління з імпульсно-кодовою модуляцією) призначена для [2] організації міжстанційних з'єднувальних ліній на міських телефонних мережах по одномодовим та багатомодовим волоконно-оптичним кабелям. Основні технічні дані системи ІКМ-480-5 наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні дані ВОСП ІКМ-480-5

Система зв'язку	однокабельна 2-хволоконна
Коефіцієнт помилок у лінійному тракті максимальної довжини	10^{-8}
Коефіцієнт помилок на одну ділянку регенерації, не більше	10^{-9}
Кількість каналів тональної частоти, що можливо організувати по двом оптичним волокнам	480
видкість передачі, кбіт/с	34368
Лінійна швидкість, кбіт/с	68736
Довжина хвилі, мкм	1,3
Лінійний код	1В2В
Енергетичний потенціал, дБ	38
Автоматичне регулювання рівню, не менше, дБ	30
Система зв'язку	однокабельна 2-хволоконна

1.2.2 ІКМ-480-5 з блоком ОТГ-35

Апаратура ІКМ-480-5 з блоком ОТГ-35 має такий склад [3] :

а) Блок ОСА-13 (обладнання узгодження з АТС) призначен для узгодження обладнання ІКМ з обладнанням АТС декадно-крокових і координатних систем та АМТС аналогових типів. В кожен блок ОСА-13 може бути встановлено максимум шість комплектів узгоджуючих пристроїв (КСУ), на п'ять каналів тональної частоти (ТЧ) кожен. КСУ універсальні для декадно-крокових та координатних станцій.

б) Блок АЦО-11 (аналого-цифрове обладнання) призначен для формування первинних цифрових сигналів електрозв'язку зі швидкістю передачі 2048 кбіт/с з аналогових сигналів тридцяти телефонних каналів.

Технічні характеристики:

1) залишкове підсилення телефонних каналів на частоті (1005 ± 3) Гц дорівнює $(17,0 \pm 0,5)$ дБ;

2) різниця між рівнем сигналу будь-якої частоти та рівнем сигналу на частоті (805 ± 3) Гц на виході каналу при подачі на його вхід синусоїдального сигналу з рівнем 0 дБ представлені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Частотні різниці між рівнями сигналу

Частота, кГц	Норма по технічним умовам (ТУ), дБ
до 0,3	не більше 0,5
від 0,3 до 3 включно	від 0,5 до мінус 0,5
понад 3 до 3,4 включно	від 0,5 до 1,4
Частота, кГц	Норма по технічним умовам (ТУ), дБ
понад 3,4 до 3,6 включно	не більше 0,5
понад 3,6	не більше 0

3) середня величина психометричної потужності шуму в каналі, що навантажен на вході та виході на номінальний опір при відсутності навантаження на інших каналах, дорівнює не більше 65 дБ;

4) відношення сигнал-шум, враховуючи шум квантування, на виході каналу при вхідному сигналі у вигляді білого шуму зі смугою 350-550 Гц представлені в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Відношення сигнал-шум

Рівень вхідного сигналу, дБ, мінус	Норма по технічним умовам, дБ
55	більше 12,6
40	більше 27,6
34	більше 32,2
27	більше 33,9
6	більше 33,9
3	більше 26,3

5) тактова частота цифрового сигналу первинної групи дорівнює (2048000 ± 60) Гц;

6) параметри імпульсів цифрового сигналу первинної групи при навантаженні (120 ± 6) Ом:

- амплітуда імпульсів (в середині імпульсу) дорівнює $(3 \pm 0,3)$ В;
- тривалість імпульсів (на рівні 0,5 амплітуди), дорівнює (244 ± 25) нс;

7) параметри імпульсів цифрових каналів по стику 64 кбіт/с при навантаженні (120 ± 6) Ом:

- амплітуда імпульсів (в середині імпульсу) дорівнює $(1 \pm 0,1)$ В;
- тривалість імпульсів (на рівні 0,5 амплітуди) на хронуючих виходах дорівнює $(7,8 \pm 0,8)$ мкс , а на інформаційних виходах - $(15,6 \pm 1,6)$ мкс;

8) потужність, споживаєма АЦО-11 від джерела постійного струму напругою 60 В дорівнює не більше 20 Вт;

9) габаритні розміри-599×233×240 мм;

10) маса не більше 14 кг;

11) електроживлення АЦО-11 здійснюється від джерела постійного струму напругою від 54 В до 72 В із заземленим плюсом;

12) психофотометрична напруга пульсацій джерела не повинна бути більша ніж 5×10 В

в) Комплект УСО-01 (уніфіковане сервісне обладнання) призначен для обслуговування кінцевого обладнання, обладнання лінійного тракту, для організації службового зв'язку та телеконтролю в двох напрямках.

Комплект УСО-01 забезпечує відображення аварійної інформації, дозволяє організовувати службовий зв'язок.

В комплекті УСО-01 передбачена можливість організації обслуговування за допомогою автоматизованої централізованої системи технічного обслуговування.

Технічні характеристики:

1) струм, споживаємий комплектом від джерела 60 Вт:

- у безаварійному стані не більше ніж 0,5 А;
- при відображенні аварійних станів не більше ніж 1,0 А;

2) параметри сигналів службового зв'язку:

– залишкове підсилення мікшера службового зв'язку при номінальному рівні на вході будь-якого напрямку мінус 3,5 дБ при навантаженні 600 Ом дорівнює (0 ± 1) дБ;

- викликаючи частоти-від 1100 Гц до 2000 Гц;
- дискретність викликаючих частот-100 Гц;
- помилковість кожної викликаючої частоти не більше ± 10 Гц;
- рівень викликаючої частоти - ± 2 дБ;

3) параметри імпульсів на виході блоку УСО-01 у напрямку обслуговуємих блоків:

- амплітуда - $(1 \pm 0,1)$ В; $(2 \pm 0,2)$ В;
- вид коду - квазіп'ятирічний;
- тривалість на рівні 0,5 амплітуди дорівнює $(3,9 \pm 0,4)$ мкс;

4) максимальна кількість обслуговуємих блоків (рядків апаратури)-99;

5) габаритні розміри-223×242×599 мм;

6) маса не більше 15 кг.

Система індикації здійснює контроль виходу з ладу будь-якого блоку, що обслуговується, вторинного джерела сигнального живлення, пристрою живлення УСО-01, контроль одержання вивозу по службовому зв'язку та інше.

Комплект виконує 9 команд: відключення дзвону; запит про аварії; запит про стан каналів тональної частоти; блокування-розблокування каналів; послідовна виклику по службовому зв'язку; підключення-відключення магістралей службового зв'язку, станційних регенераторів до лічильника помилок і програмування системи телеконтролю; загальне стирання раніше введених команд.

Електроживлення комплексу здійснюється від джерела постійного струму напругою від 54 В до 72 В із заземленим плюсом. Псофометрична напруга пульсацій джерела не повинна бути більша ніж 5×10 В.

г) Блок ОТГ-35 (обладнання третинного часового групоутворення) призначен для асинхронного об'єднання методом додатнього вирівнювання швидкостей 16-ти первинних цифрових потоків зі швидкістю передачі 2048 кбіт/с або 4-х вторинних цифрових потоків зі швидкістю передачі 8448 кбіт/с в груповий третинний цифровий потік зі швидкістю передачі 34368 кбіт/с, передачі цього сигналу по волоконно-оптичному кабелю, а також зворотнього перетворення при прийомі.

ОТГ-35 має також електричний стик 34368 кбіт/с G.703/8 для підключення до внутрішнього станційного коаксіального кабелю. У випадку необхідності формування двох третинних потоків 34368 кбіт/с у блоці можливе установлення додаткового комплексу плат КЛТ-35 (комплект лінійного тракту). Блок ОТГ-35 працює на довжині хвилі 1,3 мкм та 1,55 мкм з використанням одномодового та багатомодового оптичного кабелю.

Основні технічні дані:

- 1) метод спряження потоків-додатнє вирівнювання швидкостей;
- 2) код сигналу на стиках 2048 кбіт/с-HDB-3;

3) струм витрачаємий блоком при напрузі живлення 60 В при установленні додаткового комплекту КЛТ-35 повинен бути не більше ніж 0,5 А;

4) електричні стики-за рекомендаціями МСЕ-Т G.703;

5) інтерфейс по системі контролю та сигналізації-стик з УСО-01, УСО-02;

6) загасання вхідних сигналів на стиках 2048 кбіт/с і 8448 кбіт/с дорівнює 6 дБ;

7) загасання вхідних сигналів на стику 34368 кбіт/с дорівнює 12 дБ.

Конструктивно ОТГ-35 виконано у вигляді однорядкової касети БНК-4 для встановлення в каркасі СКУ (комплект стійкових уніфікованих каркасів).

В даному дипломному проекті використовується блок ОТГ-35 типу 002, який має наступні характеристики:

1) довжина хвилі-1300 нм;

2) потужність оптичного сигналу на виході-мінус (3 ± 1) дБм;

3) потужність оптичного сигналу на вході-від мінус 6 дБм до мінус 38 дБм;

4) тип кабелю-одномодовий;

5) кількість потоків-16.

д) Комплект СКУ-01 (комплект стійкових уніфікованих каркасів) призначен для розміщення блоків цифрового обладнання або блоків обладнання лінійних перемикачів.

В каркас СКУ-01 можна встановити до 11 типових блоків (БНК-4). Цей каркас має шину живлення та сигналізації, а також джерело сигнального живлення ВП-05.

Технічні характеристики:

1) габаритні розміри-2600×600×238 мм;

2) маса не більше 55 кг.

е) Блок ОСП-05 (обладнання світловодних перемикань) призначен для забезпечення нероз'ємних та роз'ємних з'єднань лінійних оптичних кабелів зі станційними оптичними кабелями.

Блок забезпечує з'єднання як одномодових, так і багатомодових оптичних кабелів із загальною кількістю волокон до 16.

Блок встановлюється в уніфікованому стійковому каркасі СКУ. існує 5 варіантів цього блоку:

1) ОСП-05-002-призначен для організації нероз'ємного з'єднання лінійних оптичних кабелів зі станційними оптичними кабелями;

2) ОСП-05-002-01- призначен для організації роз'ємного з'єднання між восьмиволоконними одномодовими лінійними та станційними оптичними кабелями і нероз'ємного з'єднання між восьмиволоконними лінійними та станційними оптичними кабелями;

3) ОСП-05-002-02- призначен для організації роз'ємного з'єднання між восьмиволоконними багатомодовими лінійними та станційними оптичними кабелями і нероз'ємного з'єднання між восьмиволоконними лінійними та станційними оптичними кабелями;

4) ОСП-05-002-03- призначен для організації роз'ємного з'єднання між 16-ти волоконними одномодовими лінійними та станційними оптичними кабелями;

5) ОСП-05-002-04- призначен для організації роз'ємного з'єднання між 16-ти волоконними багатомодовими лінійними та станційними оптичними кабелями.

В даному дипломному проекті буде використовуватись блок ОСП-05 типу 002-01, який найкраще підходить за своїми характеристиками та призначенням.

Технічні характеристики:

- 1) тип оптичних з'єднань-FC;
- 2) максимальна кількість волоконно-оптичних з'єднань-16;
- 3) габаритні розміри-428×291×43,6 мм;

4) маса-не більше 3 кг

Блок не потребує живлення.

Кількість і назви устаткування, що необхідні для організації зв'язку, представлені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Устаткування і його кількість

Найменування	Кількість, шт.
ОСА-13	108
АЦО-11	108
УСО-01	3
ОТГ-35	5
КЛТ-35	3
СКУ-01	3
ОСП-05-01	3

Структурна схема організації зв'язку представлена на рис. 1.1.

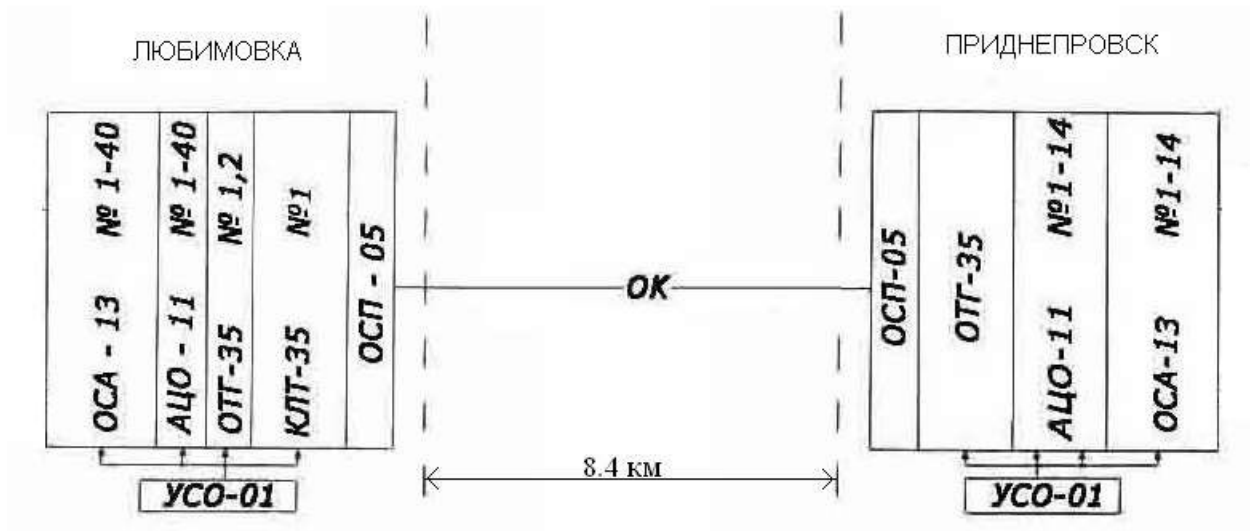


Рисунок 1.1 – Структурна схема організації зв'язку

КЛТ-35 – комплект лінійного тракту; OCA-13 – обладнання озгодження з АТС; АЦО-11 – аналого-цифрове обладнання; USC-01 – уніфіковане сервісне обладнання; ОТГ-35 – обладнання третинного часового групоутворення; ОСП-05 – обладнання світловодних перемекань.

1.3 Постановка задачі

Проаналізувавши існуючі проблеми сільської телефонної сіті, можна зробити висновок, що на даний момент є актуальність в її розвитку і існує велика кількість апаратної частини з різним рівнем ефективності, і складнощів для реалізації цієї проблеми.

В спеціальній частині на підставі вивчення стану питання була поставлена наступна задача:

Розробити волоконну – оптичну мережу зв'язку, для підвищення якості зв'язку, надання абонентам нових видів послуг. Наявність великої чисельності населення, зайнятих в основному у сфері тваринництва, селянських

господарств і приватних підприємств приведе до значного збільшення числа абонентів.

1.4 Висновки

Для більш повного задоволення потреби населення в послугах зв'язку, буде потрібно провести волоконо–оптичну мережу зв'язку з відповідним устаткуванням, яке дозволить створити не тільки сучасну телекомунікаційну мережу, але і надасть користувачам широкий спектр високоякісних послуг зв'язку. Завдяки чому буде очікуване підвищення абонентів у сфері тваринництва, селянських господарств і приватних підприємств, яке дозволить скоротити термін окупності мережі.

РОЗДІЛ 2. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Вибір типу волоконо-оптичного кабелю

Оптичний кабель – це електротехнічний виріб, що має одне або більше оптичних волокон, об'єднаних в єдину конструкцію, яка забезпечує їх працездатність у заданих умовах експлуатації. При необхідності оптичний кабель може мати струмопровідні жили.

Існуючі оптичні кабелі зв'язку класифікуються [4] :

– за областю застосування:

- 1) магістральні;
- 2) зонові;
- 3) міські;
- 4) об'єктні;
- 5) спеціальні;

– за кількістю оптичних волокон:

- 1) одноволоконні;
- 2) багатоволоконні;

– за способом укладки оптичних волокон:

- 1) повивна скрутка;
- 2) фігурне осердя;
- 3) стрічковий тип;

– за типом оптичного волокна, що застосовується:

- 1) одномодові;
- 2) багатомодові;

Оптичні волокна дуже чутливі до механічних впливів та інших факторів навколишнього середовища, тому всі елементи оптичного кабелю, крім волоконних світловодів, виконують захисні функції. Це призвело до виникнення деяких специфічних особливостей притаманних тільки оптичним кабелям. Перш за все це наявність силового елемента, що забезпечує обмеження відносного повздовжнього деформування оптичного кабелю (від

0,1% до 1%), при одночасному забезпеченні невеликого радіусу вигину. Силовий елемент називається центральним, тому що в більшості випадків він розміщується в центрі конструкції, а навколо нього виконується скрутка волоконних світловодів. Якщо силовий елемент знаходиться навколо осердя, де розміщені оптичні волокна, тоді цей кабель буде витримувати поперечний тиск, але буде менш гнучким.

Оптичне волокно – головний елемент конструкції оптичного кабелю. Волоконні світловоди розміщують в оптичних модулях (трубки з поліетилену чи іншого полімерного матеріалу), або в пазах профільованого осердя. Скрутку оптичних модулів роблять навколо центрального силового елемента. Для більш повного заповнення кабельного осердя використовують гідрофобний заповнювач. Також до структури кабелю входять захисні оболонки та бронепокриття, які запобігають проникненню вологи, випару шкідливих речовин та зовнішнім механічним впливам. Крім того, оптичний кабель може мати мідні жили для дистанційного живлення або для службового зв'язку.

В даній дипломній роботі для прокладки в кабельній траншеї буде використовуватись кабель типу ОКЛБг-3-Д7-2×4Е-0,35Ф3,5/0,21Н19-8/0 для ВОЛЗ [5] між селищем Любимівка та ж/м Придніпровськ.

Розшифровка позначень кабелю:

- а) ОК-оптичний кабель;
- б) Л-лінійний (для магістральних, зонових і міських мереж зв'язку);
- в) Бг-броня з гофрованої сталі;
- г) 3-номер розробки;
- д) Д7-діелектричний центральний силовий елемент, захисні покрови типу 7;
- е) 2 × 4Е-структура побудови осердя оптичного кабелю: кількість оптичних модулів в оптичному кабелі (два) та кількість оптичних волокон (чотири) в одному оптичному модулі;

є) 0,35Ф3,5/0,21Н19 - коефіцієнт загасання волокон на довжині хвилі 1310 нм (Ф)-0,35 дБ/км і коефіцієнт хроматичної дисперсії-3,5 пс/(нм·км), коефіцієнт загасання волокон на довжині хвилі 1550 нм (Н)-0,21 дБ/км і коефіцієнт хроматичної дисперсії-19 пс/(нм·км);

ж) 8/0-кількість оптичних волокон (вісім), кількість жил дистанційного живлення (нуль).

Оптичний кабель типу ОКЛБГ має одномодове оптичне волокно, в якого діаметр модового поля від 9 до 10 мкм, загасання-до 0,4 дБ/км на довжині хвилі 1,31 мкм або до 0,3 дБ/км на довжині хвилі 1,55 мкм. Навколо центрального силового елемента зі склопластикового стрижню скручено оптичні модулі з гідрофобним заповнювачем, на серцевину накладено проміжну поліетиленову оболонку, броню зі сталевих стрічок та поліетиленову захисну оболонку. Кабель може вміщувати чотири мідних жили для дистанційного живлення НРП. Цей тип кабелю призначен для прокладання в кабельній кналізації, трубах, блоках, колекторах, по мостах, у шахтах, ґрунтах усіх категорій, крім схильних до мерзлотних деформацій, крізь невеликі водні перешкоди ручним та механізованим способами.

Розрахуємо довжину оптичного кабелю необхідну для прокладки ВОЛЗ з урахуванням запасу на прокладку (5 %) за формулою:

$$L_{\text{каб}} = L + 0.05 \cdot L \quad (2.1)$$

де $L_{\text{каб}}$ -довжина кабелю необхідна для прокладки ВОЛЗ з урахуванням запасу, км;

L - довжина між АТС по кабельній траншеї, км.

Згідно завданню на дипломний проект ділянка ВОЛЗ, що знаходиться між селищем Любимівка та ж/м Придніпровськ дорівнює 8 км. Розрахуємо за формулою (2.1) необхідну довжину кабелю типу ОКЛБГ-3-Д7-2 × 4Е-0,35Ф3,5/0,21Н19-8/0, що прокладається на ділянці:

$$L_{\text{каб}} = 8 + 0,05 \cdot 8 = 8,4 \text{ км};$$

2.2 Розрахунок основних параметрів волоконних світловодів.

2.2.1 Розрахунок основних параметрів волоконних світловодів

Для передачі електромагнітної енергії по світловоду використовується явище повного внутрішнього відбиття на кордоні розподілу двох діелектричних середовищ, згідно закону Снелля необхідно щоб показник заломлення матеріалу серцевини n_1 був більше показника заломлення матеріалу оболонки n_2 .

Оскільки для забезпечення режиму одномодовості необхідне виконання умови $V < V_{\text{кр}}$, а величину a – радіус серцевини волокна, досить важко зробити малим, то для забезпечення заданої умови необхідно щоб різниця $n_1 - n_2$ була якомога меншою. Тому склад скла серцевини та склад скла оболонки волокна не повинні суттєво відрізнятися.

Окис германію, фосфору підвищує показник заломлення; а окиси бору і фтору знижують показник заломлення. Враховуючи цю властивість, в якості матеріалу серцевини виберемо скло з додатками германію - 3.1% GeO₂, 96.9% SiO₂; а в якості матеріалу оболонки виберемо чистий кварц - 100% SiO₂.

Для вибраних складів скла знайдемо коефіцієнти Селмейера [6]. Коефіцієнти Селмейера наведемо у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти ряду Селмейера для матеріалів оболонки і серцевини

Склад скла	Тип коефіцієнта	Значення коефіцієнта при i , рівному		
		1	2	3
3.1% GeO ₂ , 96.9% SiO ₂	Ai	0.7028554	0.4146307	0.8974540
	li, мкм	0.0727723	0.1143085	9.896161
	Ai	0.6961663	0.4079426	0.8974794

100% SiO ₂	l_i , мкм	0.0684043	0.1162414	9.896161
-----------------------	-------------	-----------	-----------	----------

Спектральна залежність показника заломлення скла описується тричленною дисперсійною формулою Селмейера:

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_{i=1}^3 \frac{A_i \cdot \lambda^2}{\lambda^2 - l_i^2}, \quad (2.2)$$

де коефіцієнти A_i, l_i визначаються експериментально.

Відносна різниця показників заломлення визначається:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2 \cdot n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad (2.3)$$

Для різних довжин хвиль по програмі П1 розраховані показники заломлення серцевини і оболонки, відносна різниця показників заломлення.

На робочій довжині хвилі $\lambda=1,31$ мкм: $n_1=1.451609$, $n_2=1.446918$, $\Delta=0.003232$.

Результати розрахунків показників заломлення і їх відносної різниці наведемо у вигляді таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунки показників заломлення матеріалів серцевини, оболонки і відносної різниці показників заломлення

λ , мкм	n1	n2	Δ
0.8	1.458111	1.453317	0.003288
0.9	1.456511	1.451754	0.003266
1.0	1.455149	1.450417	0.003252
1.1	1.453917	1.449204	0.003242
1.2	1.452751	1.448050	0.003236
1.3	1.451609	1.446918	0.003232
1.4	1.450464	1.445779	0.003230
1.5	1.449297	1.444618	0.003229
1.6	1.448096	1.443419	0.003230

Графік залежності показників заломлення серцевини і оболонки від довжини хвилі наведені на рисунку 2.1 відповідно.

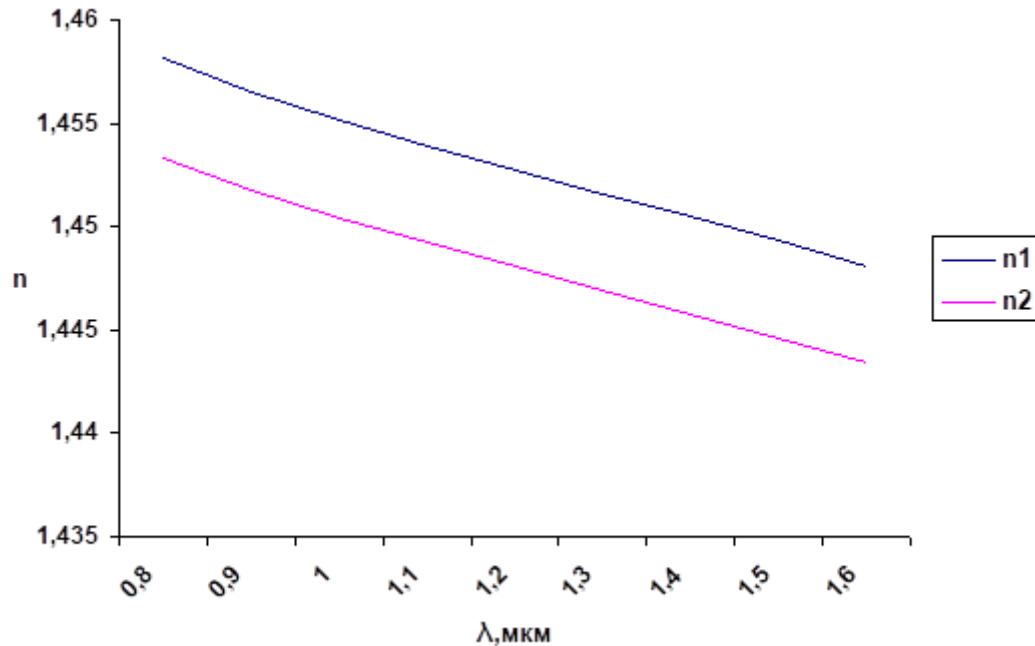


Рисунок 2.1 – Залежність показників заломлення серцевини і оболонки від довжини хвилі.

Груповий показник заломлення визначається з формули Селмейера:

$$N = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda} = n + \frac{\lambda^2}{n} \cdot \sum_{i=1}^3 \frac{A_i \cdot l_i}{(\lambda^2 - l_i^2)^2}, \quad (2.4)$$

Для робочої довжини хвилі $\lambda = 1,31$ мкм: $N_1 = 1.466425$, $N_2 = 1.461631$.

Нижче наведені результати розрахунку групового показника заломлення, залежність якого від довжини хвилі наведені в таблиці 2.3. Графік залежності групових показників заломлення серцевини і оболонки від довжини хвилі наведені на рисунку 2.2 відповідно.

Для розрахунку дисперсії знадобиться значення коефіцієнта питомої матеріальної дисперсії, що визначається:

$$M = \frac{\lambda}{c} \cdot \frac{d^2 n}{d\lambda^2} = \frac{\lambda}{c} \cdot \frac{1}{n} \cdot \left[\sum_{i=1}^3 \frac{A_i \cdot l_i^2 \cdot 2(3 \cdot \lambda^2 + 1)}{(\lambda^2 - l_i)^3} - \left(\frac{dn}{d\lambda} \right)^2 \right], \quad (2.5)$$

Для робочої довжини хвилі: $M_1 = -1.918099$ пс/(км·нм), $M_2 = -3.438611$ пс/(км·нм). Графіки залежності коефіцієнта питомої матеріальної дисперсії від довжини хвилі наведені на рис. 2.3 відповідно.

$$\lambda \cdot \frac{d\Delta}{d\lambda} = \frac{\lambda \cdot d \left[\frac{n_1 - n_2}{n_1} \right]}{d\lambda} = -\lambda \frac{d n_2 / n_1}{d\lambda} = \lambda \frac{n_2 \frac{dn_1}{d\lambda} - n_1 \frac{dn_2}{d\lambda}}{n_1^2} \lambda = \frac{n_2}{n_1^2} (n_1 - N_1) - \frac{1}{n_1} (n_2 - N_2), \quad (2.6)$$

На робочій довжині хвилі $\lambda = 1,31$ мкм: $\lambda \frac{d\Delta}{d\lambda} = -0.000038$.

В даному дипломному проєкті для ОК вибираємо двошарове оптичне волокно з ступінчастим профілем показника заломлення, оскільки воно технологічно простіше.

Таким чином числова апертура NA розраховується по формулі:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (2.7)$$

Для робочої довжини хвилі $\lambda = 1,31$ мкм $NA = 0.116606$.

Нормована робоча частота визначається по формулі:

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot a}{\lambda} \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (2.8)$$

де a - радіус серцевини, мкм.

Діаметр серцевини одномодового ВС необхідно вибрати таким чином, щоб забезпечувалися умови розповсюдження тільки основної моди. Це виконується, якщо робоча частота менша частоти відсічки мод, наступних за основною. Для двошарового однорідного ВС зі ступінчастим профілем показника заломлення в одномодовому режимі робоча частота повинна задовольняти нерівності $V < 2.405$. В розрахунках було вибрано: $a=4$ мкм. Видно, що при даному радіусі серцевини на довжинах хвиль $\lambda = 1,31$ мкм і $\lambda = 1,55$ мкм виконується умова одномодового режиму.

Таблиця 2.3 – Залежність групових показників заломлення та питомого коефіцієнта матеріальної дисперсії від довжини хвилі

λ , мкм	N1	N2	M1	M2	$d\Delta$ $\lambda - d\lambda$
0.8	1.472292	1.467145	88.787178	85.086845	-0.00021
0.9	1.469634	1.464603	62.482040	59.530735	-0.000158
1.0	1.467985	1.463039	42.245925	39.826972	-0.000118
1.1	1.467017	1.462135	25.640342	23.610347	-0.000087
1.2	1.466537	1.461704	11.222632	9.482727	-0.000061
1.3	1.466425	1.461631	-1.918099	-3.438611	-0.000038
1.4	1.466605	1.461843	-14.391786	-15.745114	-0.000018
1.5	1.467029	1.462293	-26.630386	-27.856254	0.0000006
1.6	1.467662	1.462949	-38.957321	-40.086822	0.000018

Розрахунки нормованої частоти в залежності від довжини хвилі наведені в таблиці 2.4.

Графіки залежності числової апертури та нормованої частоти від довжини хвилі наведені на малюнках 2.4 та 2.5 відповідно

Таблиця 2.4 – Залежність числової апертури, нормованої частоти від довжини хвилі оптичної несівної

λ , мкм	NA	V
0.8	0.118143	3,711458
0.9	0.117625	3,284630
1.0	0.117254	2,946825
1.1	0.116979	2,672638
1.2	0.116769	2,445562
1.3	0.116606	2,254266
1.4	0.116477	2,090933
1.5	0.116372	1,949784
1.6	0.116287	1,826583

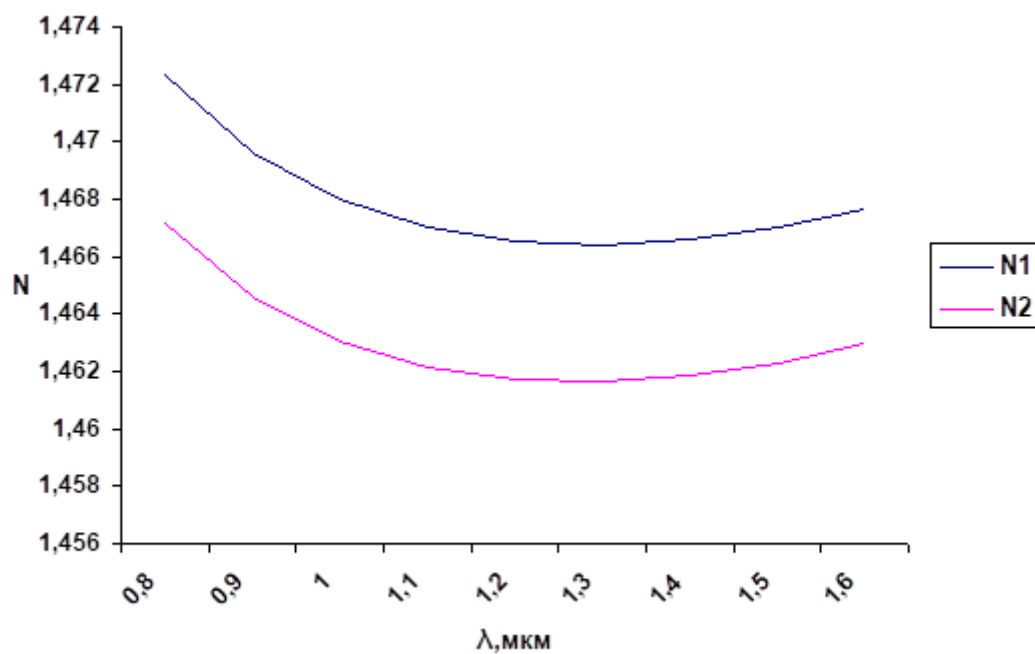


Рисунок 2.2 – Залежність групових показників заломлення серцевини і оболонки від довжини хвилі

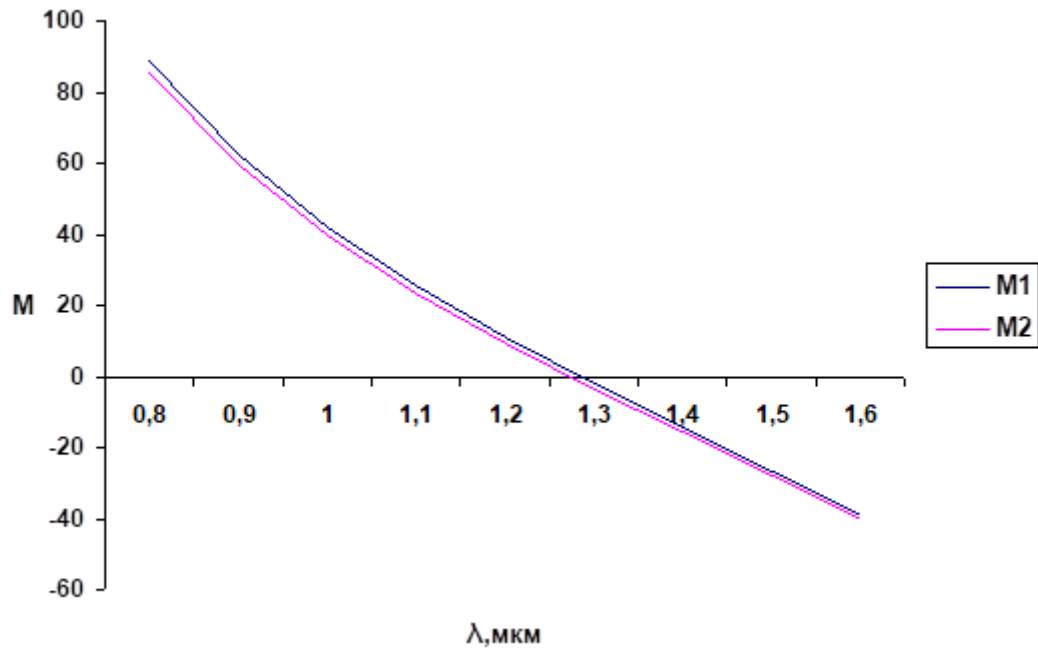


Рисунок 2.3 – Залежність коефіцієнта питомої матеріальної дисперсії від довжини хвилі

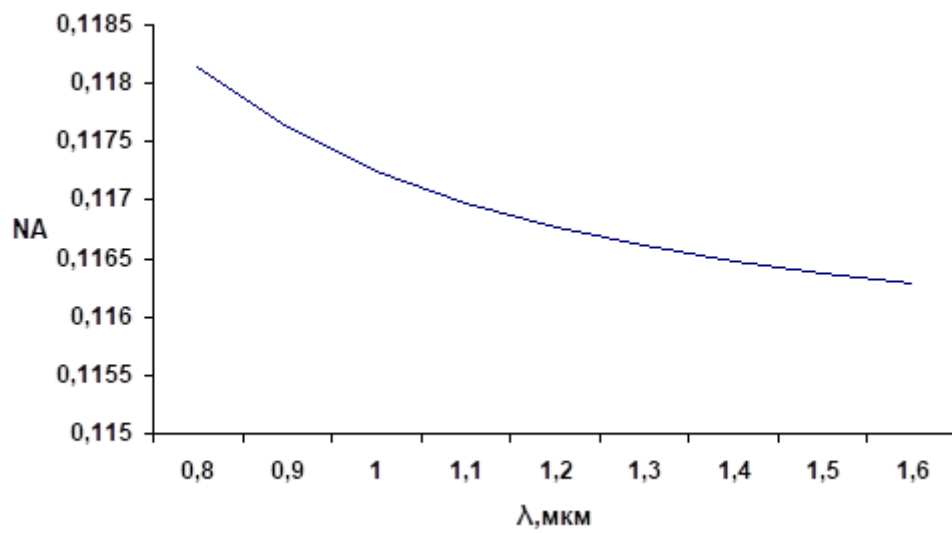


Рисунок 2.4 – Залежність числової апертури та нормованої частоти від довжини хвилі

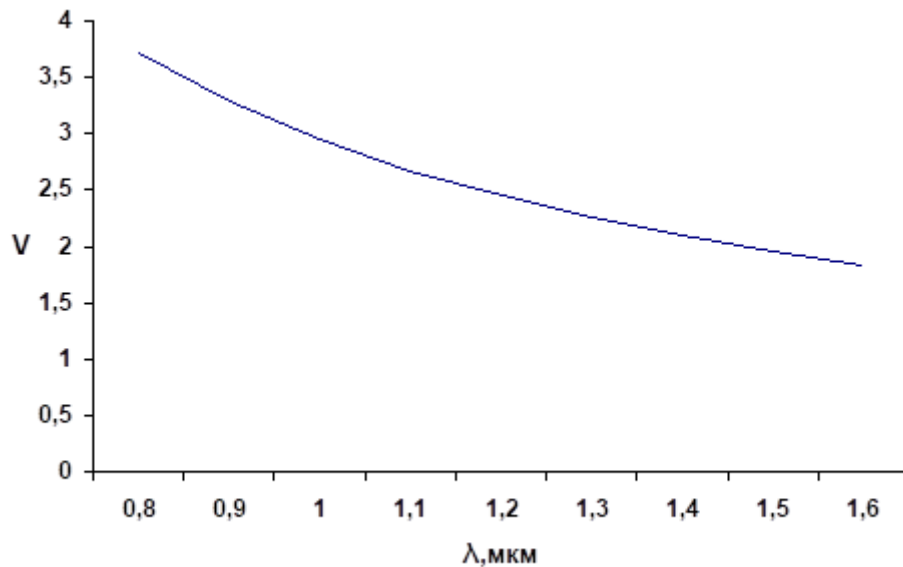


Рисунок 2.5 – Залежність числової апертури та нормованої частоти від довжини хвилі

2.2.2 Розрахунок дисперсії волоконних світловодів

При проходженні імпульсних сигналів по ВС змінюється не тільки амплітуда імпульсів, але і їхня форма – імпульси розширюються. Це явище називають дисперсією.

Дисперсія в загальному випадку визначається трьома основними чинниками: відмінністю групових швидкостей мод що розповсюджуються у ВС, та направляючими властивостями світловодної структури і властивостями матеріалу світловода.

Відмінність швидкостей розповсюдження мод що спрямовують на фіксованій частоті (довжині хвилі) випромінювання джерела призводить до того, що час проходження цих мод по світловоду від входу ВС до виходу неоднаковий. В результаті імпульс, що утвориться ними на виході розширюється, причому величина розширення дорівнює різниці часу розповсюдження самої повільної і самої швидкої моди. Означене явище носить назву міжмодової дисперсії.

Відмінність швидкостей розповсюдження кожної з спектральних складових спрямовуючих мод, утворюючих сигнал, на різних частотах спектру випромінювання джерела призводить до різної часової затримки частотних складових сигналу, те є до хроматичної (внутрішньомодової) дисперсії. Чим ширше спектр випромінювання оптичного джерела, тим більше хроматична дисперсія.

Хроматична дисперсія складається в основному з хвилеводної дисперсії, дисперсії матеріалу і профільної дисперсії.

Хвилеводна дисперсія зумовлена спрямовуючими властивостями, світловодної структури, а саме нелінійною залежністю коефіцієнту фази β даної моди ВС від довжини хвилі (частоти) оптичного випромінювання. Дисперсія матеріалу ОВ зумовлена залежністю показника заломлення матеріалу серцевини і оболонки від довжини хвилі оптичного випромінювання.

Загальна величина розширення імпульсів на ділянці світловоду довжиною L складає [7]:

$$\tau = \sqrt{\tau_{мм}^2 + \tau_{хр}^2} = \sqrt{\tau_{мм}^2 + (\tau_{\epsilon} + \tau_{mat})^2}, \quad (2.9)$$

де $\tau_{мм}$ і $\tau_{хр} = (\tau_{\epsilon} + \tau_{mat})$ – розширення в результаті міжмодової і хроматичної дисперсії відповідно.

В одномодових ВС міжмодова дисперсія буде відсутня і розширення імпульсу, що передається відбувається внаслідок хроматичної дисперсії основної моди.

В одномодових ВС розповсюджується тільки одна мода розширення HE_{11} (LP_{01}) і розширення імпульсу визначається дисперсією матеріалу і хвилеводною дисперсією:

$$\sigma_{\text{вн}} = \frac{\sigma_{\lambda} \cdot L}{\lambda} \cdot \left| \lambda \frac{dt}{d\lambda} \right| = 2 \cdot \pi \cdot \frac{\sigma_{\lambda}}{\lambda^2} \cdot \frac{L}{c} \cdot \left| \frac{d^2 \beta}{dk^2} \right|, \quad (2.10)$$

де t - коефіцієнт групового уповільнення основної моди;

λ - середня довжина хвилі випромінювання;

β - продольна постійна розповсюдження моди HE₁₁ (LP₀₁).

Дисперсійною характеристикою моди називають залежність β від частоти або довжини хвилі. Для ВС її часто розглядають в нормованому вигляді як залежність нормованої постійної розповсюдження b від нормованої частоти: $b = f(V)$.

$$b = \frac{\left(\frac{\beta}{k} \right)^2 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}, \quad (2.11)$$

де $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ - діелектрична проникність серцевини і оболонки, те є

$$n_1 = \sqrt{\varepsilon_1}; n_2 = \sqrt{\varepsilon_2}.$$

Середньоквадратичне розширення основної моди можна визначити, якщо чисельно продиференціювати дисперсійну характеристику моди $\beta(k)$, що розрахована з урахуванням залежності профілю показника заломлення світловоду від довжини хвилі:

$$\varepsilon(p) = \varepsilon_2 + f(p) \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2), \quad (2.12)$$

Введемо нормовану радіальну координату: $\rho = r/a$, де a - радіус серцевини. Доцільність використання нормованої характеристики $b(V)$ полягає

в тому, що при малих відносних різницях показників заломлення $\Delta = \frac{(n_1 - n_2)}{n_1}$ і

коли Δ - мало, вигляд характеристики не залежить від Δ , а визначається лише нормованим профілем діелектричної проникності:

$$f(p) = \frac{\varepsilon(p) - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}, \quad (2.13)$$

Для двошарового однорідного світловоду (східчастого):

$$f(p) = \begin{cases} 1, & p \leq 1 \\ 0, & p > 1 \end{cases}$$

При зміні p від 0 до 1: $\varepsilon(p) = \varepsilon_1$; при $p > 1$: $\varepsilon(p) = \varepsilon_2$, а значить $f(p) = 0$.

З раніш даного співвідношення для нормованої постійної розповсюдження можна знайти коефіцієнт розповсюдження:

$$\beta = k \left\{ n_2^2 - (n_1^2 - n_2^2) b \right\}^{1/2} \approx k n_2 (1 + b \Delta), \quad (2.14)$$

Останнє наближення отримане з умови, що в світловодах $b < 1$; $\Delta \ll 1$. З цього визначення можна визначити похідну $\beta(k)$:

$$\frac{d\beta}{dk} = \frac{\left\{ n_2 \cdot N_2 + \left(b + \frac{1}{2} \cdot V \frac{dVb}{dV} \right) \cdot \left(n_1 \cdot N_1 - n_2 \cdot N_2 \right) \right\}}{\left\{ n_2^2 + \left(n_1^2 - n_2^2 \right) \cdot b \right\}^{1/2}} \quad (2.15)$$

Дифференціюючи вираз по k і враховуючи, що $b\Delta \ll 1$, отримаємо вираз внутрішньомодової дисперсії:

$$\sigma_{вн} = \sigma_{\lambda} \cdot L \cdot \left| T_1 + T_2 + T_3 \right|, \quad (2.16)$$

де T_1 - складова дисперсії матеріалу;

T_2 - складова хвильоводної дисперсії;

T_3 - дисперсія профілю показника заломлення;

L - довжина ВС;

σ_{λ} - ширина спектральної лінії джерела випромінювання.

Складова матеріальної дисперсії визначається

$$T_1 = \frac{\lambda}{c} \cdot \left[A(V) \cdot \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} + [1 - A(V)] \cdot \frac{d^2 n_2}{d\lambda^2} \right], \quad (2.17)$$

$$\text{де } A(V) = \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{dV \cdot b}{dV} + b \right],$$

Складова хвильоводної дисперсії визначається по наступній формулі:

$$T_2 = \frac{n_2 \cdot \Delta}{c \cdot \lambda} \cdot B(n) \cdot V \cdot \frac{d^2 V \cdot b}{dV^2}, \quad (2.18)$$

$$\text{де } B(n) = 1 - \left[\frac{\lambda}{n_2} \cdot \frac{dn_2}{d\lambda} \right]^2,$$

Складова профілю показника заломлення визначається по наступній формулі:

$$T_3 = -\frac{n_2}{c} \cdot C(n) \cdot D(V) \cdot \frac{d\Delta}{d\lambda}, \quad (2.19)$$

$$\text{де } C(n) = 1 - \frac{\lambda}{n_2} \cdot \frac{dn_2}{d\lambda} - \frac{\lambda}{4 \cdot \Delta} \cdot \frac{d\Delta}{d\lambda},$$

$$D(V) = V \cdot \frac{d^2(V \cdot b)}{dV^2} + \frac{d(V \cdot b)}{dV} - b.$$

Апроксимуючі функції обчислюються за наступними формулами:

$$b = -\frac{0,321 + 3,785 \cdot V - 3,662 \cdot V^2 + V^3}{19,744 - 19,349 \cdot V + 5,116 \cdot V^2}, \quad (2.20)$$

$$\frac{d(V \cdot b)}{dV} = \frac{-4,161 + 12,07 \cdot V - 7,1 \cdot V^2 + V^3}{7,599 - 3,999 \cdot V - 3,9 \cdot 10^{-6} \cdot V^2}, \quad (2.21)$$

$$V \cdot \frac{d^2(V \cdot b)}{dV^2} = \frac{-0,983 + 5,988 \cdot V - 4,804 \cdot V^2 + V^3}{-6,852 + 10,011 \cdot V - 3,418 \cdot V^2}, \quad (2.22)$$

Результати розрахунків апроксимуючих функцій наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Залежність апроксимуючих функцій від довжини хвилі оптичної несівної

λ , мкм	B	$\frac{d(V \cdot b)}{dV}$	$\frac{V \cdot d^2(V \cdot b)}{dV^2}$
0.8	0.782903	0.833971	-0.368999
0.9	0.706178	1.025736	-0.211439
1.0	0.646288	1.112937	-0.076117
1.1	0.596310	1.141789	0.045123
1.2	0.549292	1.137278	0.158
1.3	0.497911	1.113587	0.26694
1.4	0.438095	1.079230	0.375389
1.5	0.374715	1.041696	0.484872
1.6	0.318887	0.990213	0.688258

Складова матеріальної дисперсії для оптичного кабелю на робочій довжині хвилі випромінювання $\lambda=1,31$ мкм:

$$T_1 = -1.689338 \text{ пс}/(\text{км} \cdot \text{нм}).$$

Складова хвилеводної дисперсії на робочій довжині хвилі випромінювання: $T_2 = 3.411813 \text{ пс}/(\text{км} \cdot \text{нм} \cdot \text{нм})$. Дисперсія профілю показника заломлення для робочої довжини хвилі $\lambda=1.31$ мкм: $T_3 = 0.124926 \text{ пс}/(\text{км} \cdot \text{нм})$.

Питома дисперсія для одномодового світловода визначається:

$$\frac{\sigma_{\text{вн}}}{\sigma_{\lambda} \cdot L} = |T_1 + T_2 + T_3| = \text{sigma}, \quad (2.23)$$

Питома дисперсія одномодового світловода на робочій довжині хвилі випромінювання $\lambda = 1,31$ мкм (при $\sigma_{\lambda} = 1$ нм і $L = 1$ км):

$$\frac{\sigma_{\text{вн}}}{\sigma_{\lambda} \cdot L} = 1.847400 \left(\frac{\text{нс}}{\text{км} \cdot \text{нм}} \right).$$

Результати розрахунків складових питомої дисперсії для одномодового світловода наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Залежність питомої матеріальної, питомої хвилеводної, питомої профільної і повної хроматичної дисперсії від довжини хвилі оптичної несівної

λ , мкм	T1	T2	T3	sigma
0.8	111.936027	-16.770933	-1.091624	94.073771
0.9	69.775833	-8.598368	-0.304951	60.872512
1.0	42.390670	-3.430482	-1.975699	38.940429
1.1	23.026647	-9.901964	0.220318	23.147945
1.2	9.139349	2.046481	0.171794	11.357625
1.3	-1.689338	3.411813	0.124926	1.847400
1.4	-10.492415	4.337516	6.448833	6.090410
1.5	-17.966665	5.247104	-2.590937	12.722151
1.6	-24.571409	6.485625	-7.433471	18.160118

Графіки залежності питомої матеріальної, питомої хвилеводної, питомої профільної дисперсії і повної хроматичної дисперсії від довжини хвилі оптичної несівної наведені на рисунках 2.6, 2.7, 2.8, 2.9 відповідно.

По результатах графічних побудов видно, що мінімальна хроматична дисперсія на довжині хвилі оптичного випромінювання 1,3 мкм складає 1,847400 пс/(км·нм).

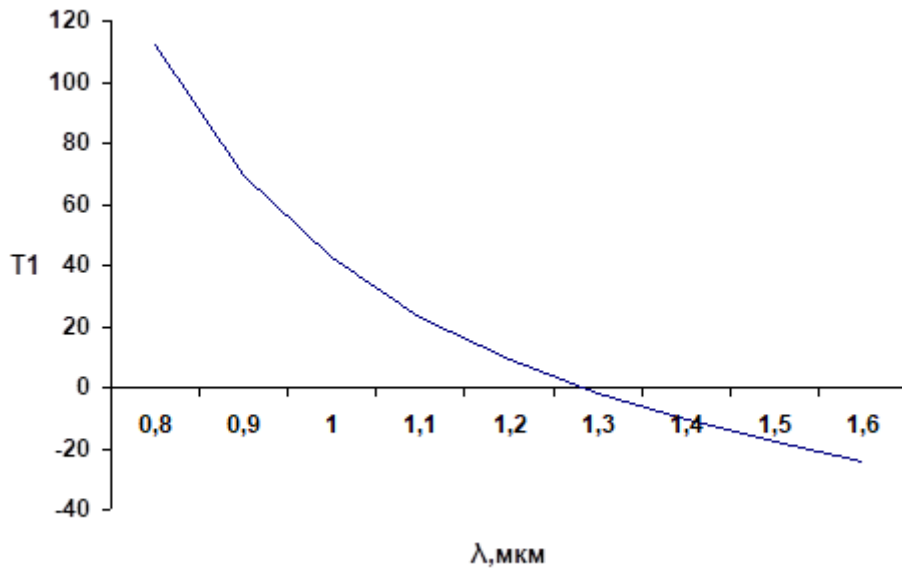


Рисунок 2.6 – Залежність питомої матеріальної від довжини хвилі оптичної несівної

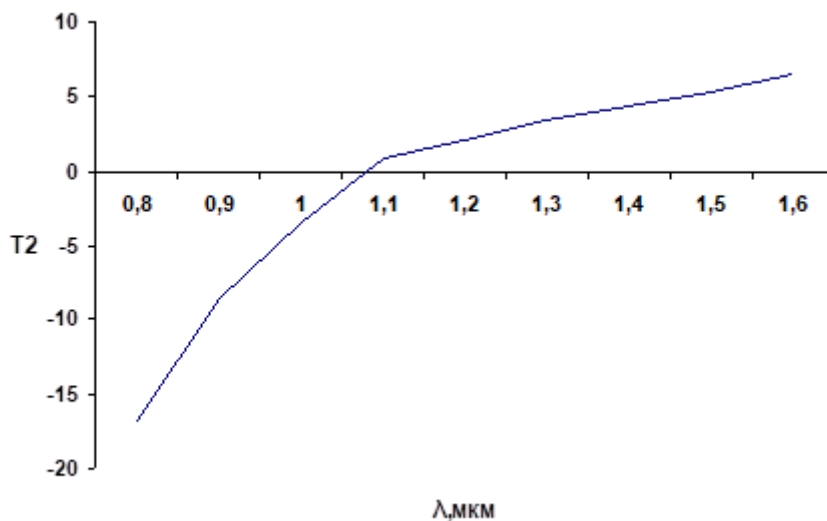


Рисунок 2.7 – Залежність питомої хвильоводної від довжини хвилі оптичної несівної

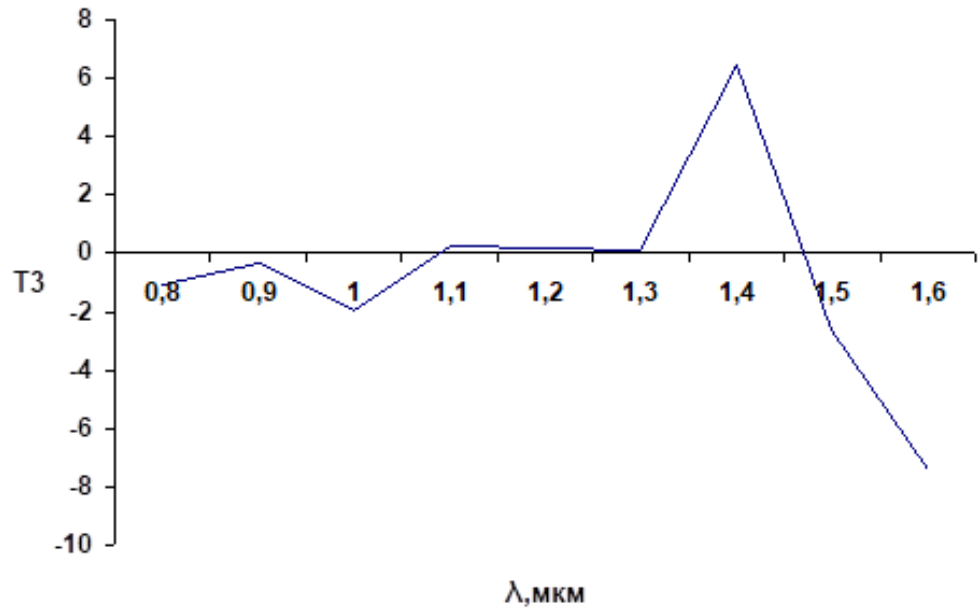
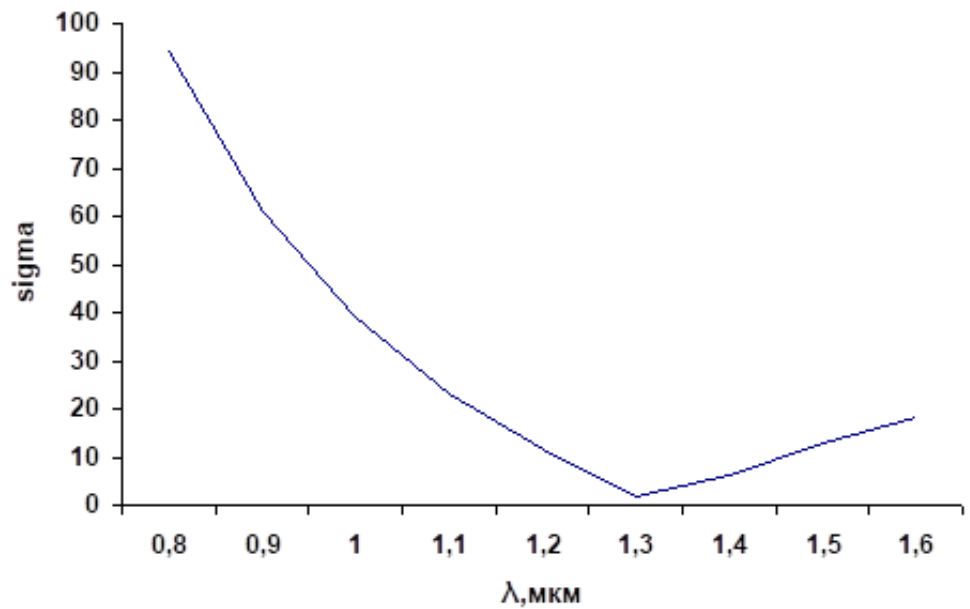


Рисунок 2.8 – Залежність питомої профільної дисперсії від довжини хвилі оптичної несівної



Риснок 2.9 – Залежність повної хроматичної дисперсії від довжини хвилі оптичної несівної

2.3 Розрахунок довжини регенераційної ділянки.

2.3.1 Розрахунок довжини регенераційної ділянки за часовими характеристиками

Розповсюджуючись по волоконному світловоду імпульси загасають і змінюють свою форму. Тому у волоконно-оптичних лініях зв'язку великої довжини необхідно використовувати регенератори. Загальні втрати в лінійному тракті та розширення імпульсів у волоконному світловоді визначають найбільшу довжину регенераційної ділянки. Розширення імпульсу залежить від типу оптичного волокна (одномодове чи багатомодове, ступінчате чи градієнтне) та ширини спектральної лінії джерела. Величину розширення імпульсів характеризує середньоквадратична ширина імпульсної характеристики [7].

Довжина регенераційної ділянки, що обмежена часовими характеристиками лінійного тракту волоконно-оптичної системи передачі, визначається за формулою:

$$L_{p0-1} \leq \frac{0,25}{\delta \cdot B \cdot \Delta\lambda}, \text{ км} \quad (2.24)$$

де δ - повна хроматична дисперсія, пс/(нм·км);

B - швидкість передачі в лінійному тракті, бит/с;

$\Delta\lambda$ - ширина спектральної лінії джерела випромінення, нм.

Використовуючи технічні характеристики оптичного кабелю та апаратури передачі в лінійному тракті, що наведені в розділах 3 та 4 підставимо числові значення в формулу:

$$L_{py-1} = \frac{0,25 \cdot 10^{12}}{3 \cdot 3,5 \cdot 34,4 \cdot 10^6} = 692,137 \text{ км}$$

2.3.2 Розрахунок довжини регенераційної ділянки за енергетичними характеристиками

При заданих імовірності помилки в повідомленні, що приймається, та швидкості передачі інформації для кожного типу фотоприймача існує мінімальний рівень прийнятого сигналу, нижче якого не забезпечується задана якість передачі.

Потужність на виході фотоприймача:

$$P_{\phi} = P_{пер} - P_{заг}, \quad (2.25)$$

де $P_{пер}$ – потужність випромінення оптичного передавача (лазера або світловипромінювального діода), дБ

$P_{заг}$ – величина, яка враховує сумарні втрати в лінійному тракті (загальні втрати), дБ.

Загальні втрати складаються з втрат при вводі випромінення в оптичне волокно P_v , втрат в пристрої виводу $P_{вив}$, в роз'ємних та нероз'ємних з'єднаннях, а також із власних втрат в світловоді:

$$P_{вл} = \alpha \cdot L_p, \quad (2.26)$$

де α - погонне загасання, дБ/км;

L_p - довжина світловода або регенераційної ділянки, км;

$$\alpha_{pz} = 0,4 \text{ дБ}; \quad \alpha_{nz} = 0,1 \text{ дБ};$$

де α_{pz} - втрати в роз'ємних з'єднаннях;

α_{nz} - втрати в нероз'ємних з'єднаннях.

Погонні втрати в світловоді залежать від робочої довжини хвилі:

$$\lambda = 1310 \text{ нм} - \text{до } 0,4 \text{ дБ/км};$$

$\lambda = 1550$ нм - до 0,25 дБ/км

Кількість з'єднань m на регенераційній ділянці залежить від будівельної довжини кабелю $l_{\text{буд}}$, яка, в даному випадку, складає величину 2 км

$$m = \frac{L_p}{l_{\text{буд}}} + 1 \quad (2.27)$$

Якщо n_{pz} - кількість роз'ємних з'єднань, а інші нероз'ємні ($n_{nz} = m - n_{pz}$), з втратами α_{pz} і α_{nz} відповідно, тоді втрати в з'єднаннях дорівнюють:

$$P_z = \alpha_{nz} \left(\frac{L_p}{l_{\text{буд}}} + 1 - n_{pz} \right) + \alpha_{pz} \cdot n_{pz}, \quad (2.28)$$

В тракці на регенераційній ділянці завжди два роз'ємних з'єднання $n_{pz} = 2$, тому:

$$P_z = \alpha_{nz} \left(\frac{L_p}{l_{\text{буд}}} + 1 - n_{pz} \right) + 2 \cdot \alpha_{pz}, \quad (2.29)$$

При використанні сучасних технологій монтажу одномодових оптичних кабелів, втрати в нероз'ємних з'єднаннях не перевищують 0,2 дБ/з'єдн, а в роз'ємних з'єднаннях не перевищують величину 0,4 дБ/з'єдн.

В ВОЛЗ необхідно передбачити зміну параметрів системи при зміні температури навколишнього середовища P_t , запас потужності сигналу, який передбачає можливість погіршення параметрів компонентів ВОЛЗ. Ці можливі втрати враховуються шляхом введення експлуатаційного запасу системи зв'язку $P_{зан}$. В більшості випадків $P_{зан} = 6$ дБ

$$P_{\phi} = P_{nep} - P_{zag} - P_{zan} - P_t = P_{nep} - P_v - P_{viv} - \alpha_{Hz} \left(\frac{L_p}{l_{\text{бюд}}} - 1 \right) - 2 \cdot \alpha_{pz} - \alpha \cdot L_p - P_{zan} - P_t, \quad (2.30)$$

Для забезпечення заданої якості передачі необхідно, щоб:

$$P_{\phi} \geq P_{\phi min}, \quad (2.31)$$

Величину Π називають енергетичним потенціалом системи зв'язку:

$$\Pi = P_{nep} - P_{zag} - P_t - P_{\phi min} \quad (2.32)$$

Слід зауважити, що усі потужності та втрати даються в дБм:

$$P(\text{дБм}) = 10 \cdot \lg \frac{P(\text{мВт})}{1\text{мВт}}, \quad (2.33)$$

Тоді з формул одержуємо:

$$L_p \leq \frac{\Pi - P_{zan} - 2 \cdot \alpha_{pz}}{\alpha + \frac{\alpha_{Hz}}{l_{\text{бюд}}}} = L_{p \max}, \quad (2.34)$$

де Π - енергетичний потенціал системи, дБ;

P_{zan} - експлуатаційний запас, дБ;

α_{pz} - додаткові втрати, які вносить оптичний роз'ємний з'єднувач на кожному стику апаратури та оптичного кабелю, дБ;

α - коефіцієнт загасання оптичного кабелю, дБ/км;

$\alpha_{нз}$ - втрати в місці нероз'ємного з'єднання оптичних волокон при зрощуванні будівельних довжин кабелю, дБ;

$l_{бюд}$ - будівельна довжина кабелю, км

Формула визначає максимальну довжину регенераційної ділянки за енергетичними характеристиками. Дані для розрахунку приведені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Дані для розрахунку довжини регенераційної ділянки

Найменування	Значення
Енергетичний потенціал системи (П), дБ	35
Експлуатаційний запас ($P_{зан}$), дБ	6
Втрати в роз'ємному з'єднанні (α_{pz}), дБ	0,4
Втрати в місці з'єднання оптичних волокон ($\alpha_{нз}$), дБ/км	0,1
Коефіцієнт загасання оптичного волокна (α), дБ/км	0,4
Будівельна довжина оптичного кабелю ($l_{бюд}$), км	2

Розрахуємо максимальну величину довжини регенераційної ділянки

$L_{p\max}$:

$$L_{p\max} = \frac{35 - 6 - 2 \cdot 0,4}{0,4 + \frac{0,1}{2}} = 62,6$$

Довжина ВОЛЗ в даному дипломному проекті складає 8,4км. Максимальні довжини регенераційної ділянки, розраховані за часовими та енергетичними характеристиками, значно більші, ніж наведена вище відстань, тому установка проміжних регенераційних пунктів не потрібна.

Величина регенераційної ділянки також обмежена мінімальним значенням. При дуже малих довжинах велика потужність сигналу на вході

фотоприймача призводить до істотних викривлень останнього. Тому є деякий мінімальний рівень загасання, який повинен бути на регенераційній ділянці.

Цей рівень обумовлен параметрами апаратури, що використовується для передачі сигналів. В даному дипломному проекті функцію передачі сигналів виконує цифрова система передачі іКМ-480-5 з обладнанням третинного часового групоутворення ОТГ-35. Використовуємий тип блоку ОТГ-35-002 має мінімальну потужність оптичного сигналу на вході 6 дБм, а на виході 3 дБм, тому мінімальний рівень загасання дорівнює:

$$A_{\min} = P_{\text{вих}} - P_{\text{вх}}, \quad (2.35)$$

де A_{\min} - мінімальний рівень загасання, дБ;

$P_{\text{вих}}$ - мінімальна потужність оптичного сигналу на виході, дБм;

$P_{\text{вх}}$ - мінімальна потужність оптичного сигналу на вході, дБм.

За формулою обчислимо A_{\min} :

$$A_{\min} = 6 - 3 = 3 \text{ дБ};$$

Якщо загасання на регенераційній ділянці буде менше A_{\min} , тоді необхідно використовувати оптичні аттенюатори номіналом 3дБ.і

Розрахуєм загасання на ділянці лінії зв'язку.

ВОЛЗ між селищем Любимівка та ж/м Придніпровськ складає $L_{\text{каб1}} = 8,4$ км. Будівельна довжина кабелю дорівнює $l_{\text{буд}} = 2$ км. $L_{\text{каб}}$ перевищує будівельну довжину кабелю на 6,4 км, тому необхідні чотири нероз'ємні з'єднання для зрощування п'ятьох будівельних довжин кабелю. Тому загасання на цій ділянці буде складатися з втрат в двох роз'ємних з'єднаннях, за допомогою яких кабель підключається з обох кінців до обладнання, в шістьох нероз'ємних з'єднаннях, за допомогою яких, крізь блок ОСП-05, забезпечується з'єднання лінійного оптичного кабелю зі станційним оптичним

кабелем і власних втрат волоконного світловоду, що виражаються коефіцієнтом загасання оптичного волокна, тому:

$$A_1 = L_{каб1} \cdot \alpha + 2 \cdot \alpha_{pz} + 6 \cdot \alpha_{nz} \quad (2.36)$$

де A_1 - загасання на ділянці ВОЛЗ, дБ;

$L_{каб1}$ - довжина першої ділянки ВОЛЗ, км;

α - коефіцієнт загасання оптичного волокна, дБ/км;

α_{pz} - втрати в роз'ємному з'єднанні, дБ;

α_{nz} - втрати в нероз'ємному з'єднанні.

За формулою обчислюємо загасання на першій ділянці ВОЛЗ:

$$A_1 = 8.4 \cdot 0.4 + 2 \cdot 0.4 + 6 \cdot 0.1 = 4.76 \text{ дБ}$$

На ділянці ВОЛЗ між селищем Любимівка та ж/м Придніпровськ необхідно використовувати оптичні аттенюатори номіналом 6 дБ, тому що розрахований рівень загасання на цій ділянці більше ніж A_{min} :

$$A_1 > A_{min} .$$

Простежимо за зміною довжини регенераційної ділянки внаслідок зміни деяких параметрів.

Результати розрахунків наведені в таблицях 2.8, 2.9, 2.10.

Таблиця 2.8 – Залежність довжини регенераційної ділянки L_p від загасання α при різних значеннях α_{pz} ($\Pi=35$, $\alpha_{nz} = 0,1\text{дБ}$, $l_{б\text{уд}} = 2\text{км}$)

$\alpha, \text{дБ/км}$	$L_p, \text{км}, \text{ при значеннях } \alpha_{pz} :$			
	0,2	0,3	0,4	0,5
0,25	95,33	94,66	94	93,33
0,3	81,71	81,14	80,57	80
0,35	71,5	71	70,5	70
0,4	63,55	63,11	62,66	62,22

Таблиця 2.9 – Залежність довжини регенераційної ділянки L_p від загасання α при різних значеннях $\alpha_{нз}$ ($\Pi=35$ дБ, $\alpha_{pz} = 0,4$ дБ, $l_{б\gammaд} = 2$ км)

$\alpha, \text{дБ/км}$	$L_p, \text{км}, \text{ при значеннях } \alpha_{нз} :$			
	0	0,05	0,1	0,15
0,25	112,8	102,54	94	86,76
0,3	94	86,76	80,57	75,2
0,35	80,57	75,2	70,5	66,35
0,4	70,5	66,35	62,66	59,36

Таблиця 2.10 – Залежність довжини регенераційної ділянки L_p від загасання α при різних значеннях $l_{б\gammaд}$ ($\Pi=35$ дБ, $\alpha_{pz} = 0,4$ дБ, $\alpha_{нз} = 0,1$ дБ)

$\alpha, \text{дБ/км}$	$L_p, \text{км}, \text{ при значеннях } l_{б\gammaд} :$			
	1	1,5	2	2,5
0,25	80,57	89,52	94	97,24
0,3	70,5	76,9	80,57	82,94
0,35	62,66	67,68	70,5	72,3
0,4	56,4	60,42	62,66	64,09

2.4 Прокладка оптичного кабелю

По каналам кабельної траншеї кабель прокладається вручну, за допомогою спеціального комплексу пристосувань, чи механічними засобами, якщо вони сертифіковані та їхні технічні характеристики відповідають вимогам якості прокладки оптичного кабелю[8]. В технологічних приміщеннях зв'язку (шахтах, кросах) оптичний кабель прокладається по існуючим металевим кабельростам з прошивкою. В лінійно-апаратних залах, де на трасі

прокладки можлива вірогідність механічного пошкодження кабелю при виконанні інших робіт, рекомендується встановити окремий кабельрост, або захисний жолоб.

Прокладка оптичного кабелю повинна здійснюватись при температурі навколишнього середовища не нижче мінус 10 градусів. У випадку необхідності прокладки при більш низьких температурах, кабель повинен бути прогрітий гарячим повітрям.

В процесі прокладки оптичного кабелю повинні бути забезпечені міри, які б виключали можливість порушення його механічних та оптичних характеристик. При розмотуванні кабелю з барабанів не можна допускати його різких вигинів та переломів внаслідок злипання або змерзання витків, різкої зміни швидкості обертання барабану, невірної заводської намотки і так далі. В процесі виконання будівельно-монтажних робіт радіус вигину кабелю повинен бути не менше допустимого технічними умовами на даний тип кабелю (20 його зовнішніх діаметрів). Призначений замовником представник повинен контролювати всі потайні роботи при прокладці оптичного кабелю.

При прокладці в кабельній траншеї до потайних робіт відносяться: застосування компенсатора обертаючих зусиль, викладка кабелю в оглядових спорудах, запас кінців для монтажу муфти, допустиме розтягуюче зусилля та радіус вигину для даної марки оптичного кабелю.

В кабельній каналізації прокладка оптичного кабелю може виконуватись як вручну, так і механізованим способом, з використанням комплекту пристосувань для прокладки оптичного кабелю. Комплект пристосувань використовується згідно з технологічною картою на його застосування. Для прокладки кабелю, по можливості, використовують канали, розміщені в середині блоку кабельної каналізації по вертикалі і біля краю блоку каналізації - по горизонталі. Якщо кабель проходить через оглядові споруди з однотипною конструкцією блоку з обох сторін, повинні займати, як правило, канали з однаковою нумерацією. Прокладка кабелю може проводитися як по вільних, так і по зайнятих каналах.

Прокладка кабелю по зайнятим каналам повинна виконуватись в поліетиленових трубках (ПНТ-32т, ПНТ-40т, або подібних їм, сертифікованих на Україні), завчасно прокладених в цих каналах.

Прокладку поліетиленової труби проводять безпосередньо з бухти, встановленої біля колодязя на пересувному тамбурі, вручну. Кінець труби, обладнаний кінцевиком у вигляді кулі, вводять в канал кабельної каналізації і поступальним рухом проштовхують трубу на всю довжину прольоту (прольотів). Додаткову підтяжку труби робітники проводять в транзитних колодязях та на поворотах. При необхідності трубу прокручують навколо осі з одночасним проштовхуванням. В колодязях поліетиленову трубу обрізають ножовкою, залишаючи запас труби 200-250 мм від каналу. В кожному колодязі на вході або на виході з каналу, одночасно з обрізанням труби, враховуючи напрямок прокладки кабелю, тимчасово, на період прокладки, встановлюють по одному протиугону.

Протиугін перешкоджає зміщенню труби по каналу при її заготовці та при прокладці кабелю.

З метою використання поліетиленової труби для прокладки в прольотах кабельної каналізації довжиною до 70-80 м допускається зрощування її короткомірних довжин. Зрощування виконують за допомогою манжети з оцинкованого металу довжиною 150 мм, товщиною 1,5-2 мм, яка встановлюється на стику труб. Попередньо на торцях з'єднувальних труб з внутрішньої сторони необхідно зняти фаску під кутом 30 градусів. Поруч з встановленою манжетою з обох сторін накладаються пояски з севілену (клей-розплав ГіПК-14-13, Крус-1), з заходом на манжету. Поверх манжети з рівним перекриттям поясків встановлюють і усаджують ТУТ 40/20 (термоусаджувальна гільза) довжиною 250 мм.

Застосування поліетиленової труби створює умови для прокладки оптичного кабелю великої довжини, а також забезпечує захист кабелю від можливих пошкоджень при заготовці каналу для прокладки інших кабелів, при докладці важких масивних кабелів, при витяжці уже прокладених кабелів з

каналу. Прокладка по каналам кабельної каналізації магістрального чи зонового оптичного кабелю, з захисним металевим броньовим покриттям, виконується без поліетиленової труби при умові, що в цих каналах не буде в подальшому докладки інших кабелів зв'язку з металевими провідниками. В цьому випадку можлива докладка тільки оптичних однотипних кабелів, в кількості не більше 5-6. Якщо докладка оптичного кабелю з металевими провідниками передбачається, то прокладка повинна виконуватись в поліетиленовій трубі. Затяжка будівельної довжини виконується у двох напрямках.

Враховуючи умови проходження траси (прямолінійність, довжина прольотів), барабан з кабелем на трасі встановлюють на козлах приблизно на середині довжини кабелю на барабані. Спочатку першу частину довжини затягують в один бік безпосередньо з барабану, проводять викладку кабелю по формі колодязів траси, починаючи з останнього колодязя, підтягуючи запас з барабана. Залишок кабелю на барабані складають "вісімкою" і затягують його в другий бік. Затяжка кабелю вручну, безпосередньо в канали кабельної каналізації і в раніше прокладену поліетиленову трубу, здійснюється за допомогою склопластикового прутка. За кінець склопластикового прутка кріпиться кабель, обов'язково за допомогою кінцівки для затяжки оптичного кабелю - за центральний силовий елемент і поліетиленову оболонку, з компенсатором обертання, який виключає передачу обертових зусиль на кабель. Конструкція такої кінцівки базується на тому, що в ній надійно закріплюються всі конструктивні елементи оптичного кабелю, крім оптичних волокон, які залишаються вільними.

Щоб запобігти пошкодженню прокладаемого кабелю, на вході та виході з каналу, особливо в кутових колодязях, в місцях механічного контакту з горловиною люка застосовуються вигнуті металеві кабельні коліна. Захисний поліетиленовий шланг рекомендується постійно змочувати водою для зменшення опору тертя під час затяжки оптичного кабелю в канали кабельної

каналізації. Категорично заборонено застосування для смазки поліетиленового шлангу вазеліну або інших технічних масел.

Прокладка будівельних довжин кабелю довжиною 2000 м і більше повинна проводитися в двох напрямках і лише в поліетиленовій трубі. Викладка кабелю в колодязях проводиться після прокладки всієї будівельної довжини в кабельну каналізацію, вішаються нумераційні кільця на кабель у всіх оглядових спорудах траси прокладки. Кабель мітиться незмивною фарбою жовтого кольору в кожному колодязі, на відстані 150-200 мм від виходу каналу кабельної каналізації, або від зрізу поліетиленової труби, робиться поясок шириною 100 мм. Для монтажу в монтажно-вимірювальній машині запас кабелю повинен бути не менше 8 м від горловини люка колодязя. Після монтажу з'єднувальної муфти запас кабелю викладається по колу у формі колодязя.

2.5 Монтаж оптичного кабелю

Основною задачею монтажу при будівництві ВОЛЗ є зрощування окремих будівельних довжин оптичного кабелю та його підключення до приймально-передаючої апаратури [8].

Монтажні роботи розпочинаються одразу ж після закінчення прокладки всіх або більшої частини будівельних довжин на регенераційній ділянці, після контрольних вимірювань і після прокладки.

Місця зрощування будівельних довжин оптичного кабелю на трасі захищаються за допомогою з'єднувальної муфти. Захисні з'єднувальні муфти бувають двох типів:

- “прохідні” (вхід та вихід з різних сторін муфти);
- “тупікові” (вхід та вихід з однієї сторони).

Муфти на оптичному кабелі розміщуються в ґрунті, в телефонних колодязях, на опорах повітряних ліній передач, в технологічних приміщеннях зв'язку. При виборі типу з'єднувальної муфти для оптичного кабелю необхідно керуватись існуючими принципами для захисних з'єднувальних

муфт електричних кабелів (механічний захист зростку та герметичність), враховуючи специфічні особливості конструкції оптичного кабелю. Структура сполучної муфти для монтажу оптичного кабелю повинна задовольняти таким основним вимогам:

- забезпечення легкого доступу до місць з'єднання оптичних волокон при проведенні ремонтно-профілактичних робіт;
- виключення можливості витягування кабелю з муфти під дією механічних навантажень;
- можливість викладки технологічного запасу оптичних волокон (800-1000 мм, для виконання ремонтних робіт) по допустимому радіусу, не менше 40 мм, з фіксацією місць з'єднання волокон;
- захист місця з'єднання від механічних навантажень;
- герметичність;
- можливість повторного використання муфти.

Монтаж сполучних муфт може робитися безпосередньо в колодязях кабельної каналізації, але при деяких умовах, а саме:

- колодязь великого типу, сухий;
- гарне освітлення;
- обігрів робочої зони і вентиляція;
- достатньо місця для встановлення в колодязі столика-підставки для зварювального апарата і вільного розміщення двох монтажників;
- при будь-якій погоді над колодязем повинен бути кабельний намет.

Якщо забезпечення вище наведених умов неможливе, монтаж робиться в спеціально обладнаній монтажній-вимірювальній автомашині.

Оптичним волокнам, як і місцям їхнього з'єднання, притаманна висока чутливість до усіх видів механічних навантажень (розтяг, вигин, поперечне зтиснення та інше). Захист оптичних волокон і місць їхнього з'єднання від дії цих навантажень забезпечується шляхом вільної викладки оптичних волокон на касетах в муфті, а механічні навантаження, діючі на кабель, повинні замикатись на корпусі муфти, без передачі зусилля на волокно.

У випадку великої кількості оптичних волокон в лінійному кабелі, на кінцевих та проміжних пунктах кабельної магістралі в технологічних приміщеннях (кабельних шахтах, кросах) монтується розгалужувальна муфта або розгалужувальна шафа, де лінійний кабель розподіляється на декілька станційних оптичних кабелів меншої ємності в оболонці, що не горить. Прокладка лінійного оптичного кабелю допускається при умові, якщо траса прокладки по металоконструкціям технологічного приміщення не більше 15 м і немає потреби у монтажі розгалужувальної муфти.

В лінійно-апаратний зал, де встановлена апаратура системи передачі, лінійний або станційний оптичний кабель подається по металоконструкціям. В спеціальному пристрої для з'єднання оптичного волокна кабелю і станційних шнурів, кожне оптичне волокно кабелю з'єднується зі станційним оптичним шнуром з роз'ємом на другому кінці.

З'єднання оптичних волокон при зрощуванні окремих будівельних довжин лінійного оптичного кабелю виконується за допомогою нероз'ємних з'єднань методом зварювання. Цей же тип з'єднань використовується для з'єднання лінійних та станційних оптичних кабелів.

Внесеним загасанням (втратами потужності оптичного випромінення) визначається якість з'єднання оптичних волокон. Втрати в місці стику оптичних волокон, величина яких може досягати кілометричного загасання самих світловодів, залежать від параметрів з'єднуємих волокон і рівня технології, вибраної для з'єднання. За ступенем важливості, фактори, що впливають на загасання в з'єднаннях, можна розподілити у наступній послідовності:

- кутове зміщення осей;
- деформація серцевин;
- неузгодженість розмірів модових полів;
- поперечне зміщення осей з'єднуємих волоконних світловодів;
- утворення бульбашок газу при зварюванні;
- якість підготовки торців з'єднуємих оптичних волокон.

Найбільш жорсткі вимоги в з'єднаннях до величини втрат в оптичних системах, що побудовані на одномодових волокнах з малим загасанням (менше 0,3 дБ/км).

Зварювання є найбільш розповсюдженим способом отримання нероз'ємних з'єднань. Цей метод передбачає розплавлення кінців волоконних світловодів, в результаті розміщення їх в полі потужного джерела теплової енергії (поле електричного розряду, в зоні потужного джерела випромінення).

Метод зварювання оптичного волокна в полі електричного розряду набув більшого застосування. Цей спосіб зварювання виконується в два етапи:

а) попереднє оплавлення торців світловодів з метою часткової ліквідації мікронерівностей, що виникають на торцевих поверхнях під час сколювання світловодів;

б) безпосереднє зварювання світловодів.

Після зварювання місце з'єднання захищається шляхом термічного усаджування комплекту деталей для захисту місця зварки. В останній час розроблені автоматичні зварювальні апарати, які підвищили якість і швидкість з'єднання світловодів. Впровадження цих машин робиться для автоматизації процесу зварювання волоконних світловодів і для того, щоб якість з'єднання не залежала від кваліфікації працівників. Прикладом такої апаратури можуть бути зварювальні апарати фірм "Fujikawa" та "Fujikura". В таких зварювальних апаратах використовуються системи автоматичного юстування зі спеціальними мікроподвижками, системи контролю якості юстування та електронні блоки управління.

Останнім часом широкого застосування набули з'єднання волоконних світловодів за допомогою механічних з'єднувачів. Причиною цього є цілий ряд позитивних якостей, до яких входять економія та надійність. Крім цього, з'єднання за допомогою механічних з'єднувачів займає не більше кількох хвилин і може виконуватись робітниками порівняно низької кваліфікації.

Хоча існує безліч видів механічних з'єднувачів, всі вони вимагають виконання якісного сколу, а іноді ще й поліровки торців світловодів в процесі їх

підготовки до з'єднання. Юстування та з'єднання світловодів виконується в спеціальній спрямовуючій системі з наступною їх фіксацією по місцю.

Існують два різновиди механічних з'єднувачів:

а) активні (є можливість вирівнювати та оптимізувати положення волокон по мінімуму втрат);

б) пасивні (ця можливість відсутня).

З'єднувачі виготовляються трьох типів:

а) 2525-для волоконних світловодів з полімерним покриттям зовнішнім діаметром 250 мкм;

б) 2590-для волоконних світловодів з полімерним покриттям зовнішнім діаметром 250 мкм з одного боку і 900 мкм з другого;

в) 2599-для волоконних світловодів з полімерним покриттям зовнішнім діаметром 900 мкм.

Середні втрати на з'єднаннях одномодових волоконних світловодів без активного регулювання 0,2 дБ, з настройкою 0,05 дБ. Час на монтаж одного з'єднувача 3-4 хвилини. Під час виконання будівельно-монтажних робіт на ВОЛЗ великої довжини виникає потреба виконувати велику кількість з'єднань волоконних світловодів. В данному випадку економічно доцільніше буде використання автоматизованих зварювальних апаратів. Механічні з'єднувачі краще використовувати при малій кількості з'єднань, або, коли потрібно терміново виконати аварійно-відновлювальні роботи на оптичному кабелі. Остаточний вибір того чи іншого методу з'єднання визначається конкретними умовами будівництва та експлуатації ВОЛЗ.

Монтаж з'єднувальних муфт і контрольні виміри в процесі монтажу виконуються комплексною бригадою у складі:

- інженера-вимірника;
- техника-вимірника;
- монтажника зв'язку шостого розряду;
- монтажника зв'язку п'ятого розряду.

Розглянемо більш докладніше монтаж з'єднувальної муфти.

Якщо монтаж з'єднувальної муфти виконується в монтажній вимірній машині, обидва кінця кабелю, не розмотуючи кільця, підводять до монтажного столу. Якщо монтаж муфти відбувається в колодязі, кільця кабелю розмотують і кабель тимчасово викладають у формі колодязя. Відступивши на 1650-1700 мм від кінців кабелю, на них встановлюють і приварюють по одному поліетиленовому конусу. Під конуси встановлюють і прикріплюють перев'язкою половинку металевого каркасу, який входить до складу монтажного комплекту. Поліетиленову оболонку обох кінців кабелю надрізають на рівні закінчення циліндричної частини, видаляють з осердя. Потім знімають пластмасові стрічки або нитки. Якщо оптичні волокна в кабелі викладені у второпластиковій трубці, їх видаляють на відстані 35-40 мм від зрізу поліетиленової оболонки. Якщо оптичні волокна знаходяться у полівінілхлоридних трубках, їх видаляють на відстані 100 мм. Вивільнені волокна або волокна у полівінілхлоридній трубці витирають від гідрофобного заповнювача бензином, а потім протирають до повної відсутності вологи.

Центральний силовий елемент, якщо він складається з ниток СВМ в полівінілхлоридній оболонці, з'єднують в середині муфти за допомогою металічної гільзи, яку на кінцях обжимають, при цьому зустрічні нитки виводячи зовні зв'язують між собою подвійним вузлом. Якщо центральний силовий елемент виконан у вигляді сталюого тросу в полівінілхлоридній оболонці, з'єднують в середині муфти за допомогою металічної гільзи, яку на кінцях обжимають, при цьому зустрічні нитки виводячи зовні зв'язують між собою подвійним вузлом. Якщо центральний силовий елемент виконан у вигляді сталюого тросу в полівінілхлоридній оболонці, то його відновлюють в середині муфти шляхом спайки. Потім поліетиленовою гільзою ізолюють місце спайки.

Після з'єднання центрального силового елемента тимчасове кріплення поліетиленових конусів до металевого каркасу послабляють і конуси трохи роздвигають, від чого центральний силовий елемент натягується. Потім

конуси закріплюють знову. В каркас вкладають на всю його довжину між конусами з поліетиленової плівки довжиною 800 мм та в ширину 200 мм.

Розпочинають підготовку і зварку першого оптичного волокна. В кабелі на кінці “А” рахунок оптичних волокон ведеться за напрямком руху часової стрілки, а на кінці “В” - проти руху часової стрілки. Під час монтажу з'єднувальних муфт ведення підрахунку волокон обов'язкове.

На довжині 30 мм на вільному від трубки оптичному волокні видаляють захисні покриття. Частіше зустрічаються два види покриттів:

- поліамідне;
- епоксіакрілатне.

Поліамідне покриття видаляють інструментом, який входить до комплекту обладнання для зварки КСС-111. Епоксіакрілатне покриття видаляють лезом небезпечної бритви.

Ділянку оптичного волокна вивільнену від захисного покриття протирають бензином-розчином “Нефрас”, а потім спиртом. Після протирання роблять скол оптичного волокна інструментом, який входить до обладнання для зварки. Скол повинен бути рівним і перпендикулярним до волокна. Якість сколу визначають мікроскопом обладнання для зварки. Якщо скол не вийшов, то операцію по видаленню захисного покриття повторюють. Волокно на другому кінці кабелю готують тим же способом.

Далі виконується зварка оптичних волокон. Потім, встановивши рефлектометр зворотнього розсіювання на початку будівельної довжини кабелю, перевіряють якість зварного з'єднання. Загасання місць зварки оптичного волокна в усіх муфтах не повинні перевищувати норму загасання встановлену проектом на всю ділянку.

Якщо результати вимірів задовольняють нормам, на зварне з'єднання встановлюють термоусаджувальну гільзу (ГЕС). Після охолодження гільзи оптичне волокно укладають у металевий каркас, а гільзу підв'язують до центрального силового елемента.

Після виконання цих дій роблять ще одну перевірку зварного з'єднання рефлектометром і тільки потім починають підготовку до зварки наступного волокна, яке з'єднують аналогічно першому.

Коли зварка і викладка всіх оптичних волокон закінчені, вкладиш з поліетиленової плівки згортають трубкою, вкладають паспорт у муфту з вказівником розподілення захисних гільз по рахунку волокон в кабелі і закривають зверху другою частиною металевого каркасу.

Над каркасом насувають дві циліндричні частини поліетиленової муфти.

Поясками термоусаджувальної трубки, попередньо одягненими на кабель, забезпечують герметичність стиків.

Після монтажу з'єднувальної муфти перевіряють її герметичність місцевим надлишковим повітряним тиском. Для цього до корпусу муфти тимчасово приварюють поліетиленовий патрубок, через який роблять прокіл у корпусі муфти. Автомобільним насосом крізь осушувальний бак з селікагелем у муфті утворюють надлишковий повітряний тиск приблизно 98 кПа. Після перевірки патрубок зрізають ножем, а дірку герметизують попередньо одягнутою на кабель смугою термоусаджувальної трубки.

Після монтажу муфти у монтажно-вимірювальній автомашині її знімають з монтажного столу та опускають в колодязь. З обох боків від муфти запас кабелю повинен знову скластися кільцями.

На кабель біля змонтованої муфти, а також на кабель в транзитних колодязях встановлюють свинцеве кільце або пластмасову бірку, на яких вказують:

- між якими АТС прокладен кабель;
- марку кабелю;
- номер кабелю.

В оглядових пристроях на оптичному кабелі і в середній частині змонтованої муфти роблять жовтою фарбою попереджувальну позначку розміром, приблизно 20 на 20 мм. По колу канала кабельної каналізації наносять жовту фарбу товщиною не менше 50 мм.

2.6 Вимірювання при технічній експлуатації ВОЛЗ

Під час планових профілактичних вимірювань параметрів кабелю не рідше як двічі на рік вимірюють загасання в обох напрямках всіх оптичних волокон, не підімкнених до діючих ВОСП [9].

На напрямках між АТС, де немає вільних робочих оптичних волокон, дозволяється вимірювати загасання оптичних волокон, підімкнених до діючих ВОСП, для визначення їх стану.

Якщо протягом гарантійного строку кілометричне загасання оптичного волокна на окремих будівельних довжинах зростає до рівня, який перевищує обумовлений технічними умовами на даний тип оптичного кабелю, необхідно скласти дефектний акт.

Дефектний акт та протоколи вимірювань передаються заводу-виробнику як основа для виконання останнім своїх гарантійних зобов'язань згідно з контрактом на поставку оптичного кабелю.

Загальне загасання експлуатованих оптичних волокон вимірюють методом втрат, які вносяться, за допомогою оптичних тестерів або комплекту пристроїв (джерело випромінення та вимірювач оптичної потужності), які пройшли метрологічну перевірку у встановлені строки.

Метод втрат, що вносяться, базується на послідовному вимірюванні оптичними тестерами потужності оптичного випромінювання на виході ШСЗ (шнур світловодний з'єднувальний), армованого з двох боків оптичними роз'ємами, і на виході оптичного кабелю, що досліджується.

Оптичні роз'єми, якими армовані світловоди кабелю та ШСЗ, повинні мати відомий рівень загасання на з'єднаннях. Перед проведенням вимірювань торці всіх роз'ємів протирають спиртом. Значення рівня потужності реєструється при фіксованій довжині хвилі на виході допоміжного та досліджуваного світловодів.

Загасання оптичного кабелю, дБ [7]:

$$A(\lambda_i) = 10 \cdot \lg \frac{P_1(\lambda_i)}{P_2(\lambda_i)} - 2 \cdot A_0, \quad (2.37)$$

де λ_i - довжина хвилі, на якій виконано вимірювання, мкм;

$P_1(\lambda_i)$ - рівень потужності на виході шнура світловодного з'єднального (ШСЗ), Вт;

$P_2(\lambda_i)$ - рівень потужності на виході досліджуваного світловоду, Вт;

A_0 - середнє значення загасання в оптичному роз'ємі, дБ.

Якщо рівень потужності реєструється не у ватах, а в дБм, загасання оптичного кабелю, дБ, визначають за формулою:

$$A(\lambda_i) = A_1(\lambda_i) - A_2(\lambda_i) - 2 \cdot A_0, \quad (2.38)$$

де $A_1(\lambda_i)$ - рівень потужності на виході ШСЗ, дБм;

$A_2(\lambda_i)$ - рівень потужності на виході досліджуваного світловоду, дБм;

A_0 - середнє значення загасання в оптичному роз'ємному з'єднанні, дБ;

λ_i - довжина хвилі, на якій виконано вимірювання, мкм.

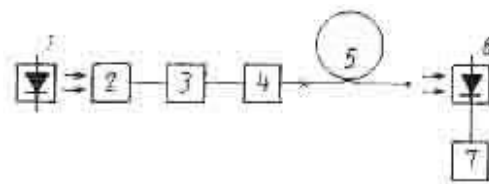
Для правильного визначення загасання вимірювання виконують тричі, після чого визначають середнє арифметичне значення результатів.

Якщо оптичні кабелі не армовані оптичними з'єднувачами можливе застосування методу обриву [9].

Метод обриву базується на порівнянні значення потужності оптичного випромінення на вході великого за довжиною відрізка кабелю зі значенням потужності його короткої ділянки, утвореної за рахунок обриву кабелю у початку вимірювального зразку. При вимірюванні необхідно забезпечити постійність потужності, що вводиться до оптичного волокна вимірювального кабелю, та незмінність модового складу випромінення.

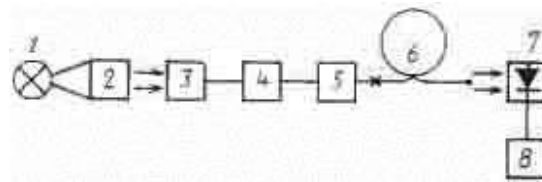
Торцеві поверхні оптичних волокон вимірювального кабелю повинні бути перпендикулярними до осі волокон і не мати сколів та пошкоджень, що заважають проходженню оптичного випромінення. Перпендикулярність торцевих поверхонь до осі волокна та відсутність на них сколу визначають за допомогою мікроскопу.

Вимірювання загасання оптичних кабелів виконують на установці, схема вказана на рис. 2.10, якщо використовують фільтр мод і змішувач мод або на установці; схема показана на рис. 2.11, якщо використовують нормалізатор.



1 – джерело випромінення; 2 – пристрій вводу; 3 – змішувач мод; 4 – фільтр мод оболонки; 5 – оптичний кабель; 6 – приймач випромінення; 7 – реєструючий пристрій;

Рисунок 2.10 – Схема вимірювання загасання з фільтром і змішувачем мод



1 – джерело випромінення; 2 – монохроматор; 3 – пристрій вводу; 4 – змішувач мод; 5 – фільтр мод оболонки; 6 – оптичний кабель; 7 – приймач випромінення; 8 – реєструючий пристрій;

Рисунок 2.11 – Схема вимірювання загасання з нормалізатором

Положення та інтенсивність джерела випромінення повинні бути стабільними під час проведення вимірювань. Довжина хвилі та спектральна

ширина джерела випромінення повинні відповідати вимогам, що вказані у стандартах або в технічних умовах на оптичний кабель що вимірюється.

Пристрій вводу випромінення до оптичного волка кабелю, що вимірюється, повинен забезпечувати жорстку фіксацію волокна і юстування вхідного кінця волокна у трьох взаємоперпендикулярних площинах для здійснення оптимального вводу енергії.

При вимірюванні оптичними тестерами у якості пристрою вводу можливе використання шнура світловодного з'єднального, армованого з одного боку стандартним оптичним роз'ємом. З іншого боку в стик закріплюється волокно, що досліджується.

У якості пристрою вводу можливе використання вилки-адаптера, якою армується волокно кабелю, що вимірюється.

Для проведення вимірювань при рівнозначном розподіленні мод, у зразку, що досліджується, використовують змішувач мод, фільтр мод осердя та фільтр мод оболонки.

Змішувач мод повинен забезпечувати збудження вимірювального волокна оптичного кабелю з модовим складом, що відповідає встановленому модовому розподіленню для даноготипу волокна. Критерієм встановленого модового розподілення є ідентичність розподілення випромінення в дальній зоні на виході модового змішувача і волокна, що вимірюється.

Фільтр мод оболонки повинен забезпечувати вивід мод, які розповсюджуються по оболонці волокна оптичного кабелю, що вимірюється. Для контролю виводу мод оболонки повинен бути використан метод вимірювання інтенсивності випромінення у ближній зоні. Критерієм виводу мод оболонки є відсутність випромінення в оболонці волокна після фільтра мод оболонки.

Якщо умови не лабораторні, замість фільтра мод використовують нормалізатор. При механічному з'єднанні в цьому випадку рекомендується застосовувати імерсійну рідину. Даний пристрій може наблизити

випромінення, яке розповсюджується по волокну, до рівнозначного розподілення мод.

Нормалізатори не виготовляють серійно. Вони являють собою фільтр мод осердя, який утворен п'ятьма витками оптичного волокна, що намотані на циліндр.

Приймач випромінення повинен мати фоточутливу площадку, якої достатньо для реєстрації всього конусу випромінення, що виходить з оптичного волокна. Приймач повинен бути чутливим до випромінення у всьому спектральному діапазоні, що використовується у вимірах. Чутливість приймача повинна бути однорідною по всій площині, а преобразуюча характеристика - лінійною або відомою.

Реєструючий пристрій повинен забезпечувати реєстрацію сигналу по всьому діапазону сигналів, що поступили з приймача випромінення. Якщо застосовують модуляцію оптичного випромінення, система обробки сигналу, що прийшов від приймача, повинна бути узгоджена з характеристиками модулятора (наприклад, синхронізована з частотою модуляції сигналу джерела випромінення). Характеристика реєструючого пристрою повинна бути лінійною або відомою.

У приміщеннях, призначених для вимірювань, не повинні знаходитись джерела магнітних, електричних полів, інтенсивного оптичного або інфрачервоного випромінення, що впливають на засоби вимірювань.

При проведенні вимірювань спочатку за допомогою пристрою вводу виконують юстування вхідного торця волокна, що вимірюється, по максимальному сигналу на виходу приймача випромінення. Фіксують положення вхідного торця та реєструють значення сигналу на виході приймача випромінення. При проведенні вимірювання спектрального розподілення загасання змінюють довжину хвилі випромінення, що вводиться до оптичного волокна, у заданому спектральному діапазоні; при цьому реєструють значення сигналу на виході волокна у всьому спектральному діапазоні.

Не змінюючи положення волокна у пристрої вводу, зламують оптичне волокно кабелю, що вимірюють, у початку фільтру мод оболонки на відстані $(1 \pm 0,2)$ м від вхідного торця. Виконують підготовку вихідного торця короткого відрізка оптичного волокна, армують його відносно фоточутливої площадки приймача випромінення таким чином, щоб на неї влучало все випромінення з вихідного торця. Реєструють значення сигналу на виході приймача випромінення на фіксованому значенні довжини хвилі джерела випромінення або у спектральному діапазоні.

При використанні методу обриву загасання оптичного кабелю визначають за формулою:

$$A(\lambda_i) = 10 \cdot \lg \frac{T_1(\lambda_i)}{T_2(\lambda_i)}, \quad (2.39)$$

де $A(\lambda_i)$ - загасання оптичного кабелю, дБ;

$T_1(\lambda_i), T_2(\lambda_i)$ - значення сигналів, відповідних рівням потужності на вході та виході оптичного кабелю, Вт;

λ_i - довжина хвилі, на якій проведені вимірювання, мкм.

Загасання можна також визначити за формулою

$$A(\lambda_i) = T_1(\lambda_i) - T_2(\lambda_i), \quad (2.40)$$

де $T_1(\lambda_i), T_2(\lambda_i)$ - рівні потужності сигналів на вході та виході досліджуваного світловоду, дБм;

Коефіцієнт загасання оптичного кабелю, що вимірюється, при методі обриву на фіксованій довжині хвилі визначають за формулою:

$$\alpha(\lambda_i) = \frac{A(\lambda_i)}{L_2 - L_1}, \quad (2.41)$$

де $\alpha(\lambda_i)$ - коефіцієнт загасання оптичного кабелю, дБ/км;

L_1 - довжина короткого відрізка кабелю, км;

L_2 - довжина оптичного кабелю, км

Якщо в схемі вимірювання коефіцієнту загасання відсутній нормалізатор, помилка при вимірюванні може досягати 1 дБ/км на початковій ділянці

Вимірювання можуть здійснюватися оптичним рефлектометром на базі методу зворотнього розсіювання, що ґрунтується на реєстрації зворотнього розсіювання світла в досліджуваному оптичному волокні кабелю під час проходження по ньому оптичного імпульсу та вимірюванні залежності інтенсивності (потужності) цього випромінення від часу.

Метод придатний для визначення: розподілу оптичних втрат вздовж оптичного волокна; загасання оптичного волокна; оптичних втрат у місці з'єднання оптичних волокон; локальних неоднорідностей (наприклад обривів) та відстані до них; втрат на неоднорідностях, а також довжини волокна.

Принцип дії рефлектометру такий самий як у радара. Короткий імпульс світла від джерела випромінення вводиться до оптичного волокна крізь розгалужувач. Відбитий сигнал з оптичного волокна надходить до приймача, в якому він оброблюється мікропроцесором і відображається на екрані. Відбитий сигнал дає повну характеристику про оптоволоконну лінію. Він складається з френелівського відбиття від торців світловодів, з втрат, які виникають внаслідок неоднорідностей, з роз'ємів і деяких з'єднань, та з кривої, яка має нахил внаслідок релеївського розсіювання імпульсу світла в осерді оптичного волокна. Релеївське розсіювання виникає в результаті неоднорідностей в структурі оптичного волокна і відбувається в обох напрямках від міста неоднорідності. Але це розсіювання більш значне у зворотньому напрямку (зворотнє розсіювання).

Вимірювання розподілення оптичних втрат на довжині виконують на установці, схема якої зображена на рис. 2.12

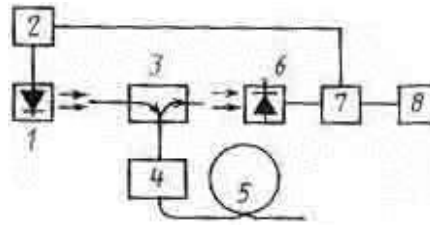


Рисунок 2.12 – Схема вимірювання втрат методом зворотнього розсіювання.

1 – джерело випромінення; 2 – генератор електричних імпульсів; 3 – спрямований відгалуджувач; 4 – пристрій вводу; 5 – вимірювальний кабель; 6 – приймач випромінення; 7 – пристрій обробки сигналу; 8 – реєструюча система;

В якості джерела випромінення використовують лазер, що генерує стабільні за потужністю, довжиною хвилі, тривалістю та частотою повторення імпульси оптичного випромінення. Потужність оптичного випромінення не повинна бути занадто мала, тому що її може не вистачити для проведення вимірювань. Але ця потужність не повинна бути занадто велика, тому що це призводить до виникнення нелінійних ефектів у волокні оптичного кабелю, що вимірюють.

Спрямований розгалуджувач повинен забезпечувати ефективну передачу потужності оптичного випромінення до оптичного волокна вимірювального кабелю та потужності зворотнього розсіювання до приймача випромінення. Спрямований розгалуджувач повинен мати апертуру, відповідну апертурі волокна кабелю, що вимірюють.

Приймач випромінення повинен мати швидкість, що відповідна довжині імпульсу джерела випромінення.

Пристрій обробки сигналу повинен забезпечувати таке збільшення відношення сигнал-шум на вході приймача випромінення, якого би вистачило для реєстрації сигналу зворотнього розсіювання.

При проведенні вимірювань спочатку за допомогою пристрою введення виконують налаштування вхідного торця волокна по максимальному значенню сигналу зворотнього розсіювання.

Маніпулюючи підсиленням реєструемого сигналу зворотнього розсіювання та часом розгортання реєструючої системи знімають показники залежності випромінення зворотнього розсіювання від часу або, що одне і теж саме, від відстані від початку волокна кабелю, що вимірюють. Точність вимірювання загасання залежить від постійності коефіцієнту зворотнього розсіювання. Але у більшості випадків цей коефіцієнт змінюється вздовж світловоду.

У випадку, коли на оптичній лінії зв'язку при вимірюваннях з'явилось підсилення сигналу в місці з'єднання оптичного волокна, рекомендується робити вимірювання в обох напрямках з подальшим розрахунком середнього значення, завдяки чому точність вимірювання дорівнює 0,01 дБ.

Френелівське відбиття може бути джерелом помилкових сплесків на рефлектограмі. Для їх виявлення на рефлектограмі зменшують (якщо це можливо) відбитий сигнал, використовуючи подовжувач оптичного волокна. Важливо, щоб встановлений діапазон вимірювань був більшим по довжині оптичного волокна, що досліджується. Ознакою кінця оптичного волокна є різке загасання сигналу після френелівського відбиття або без нього, яке закінчується рівнем шумів.

Рівень шумів обмежує чутливість рефлектометра. При наближенні кривої до цього рівня точні вимірювання стають важкими. Рівень шумів можна зменшити шляхом процесу усереднення.

Таким чином, метод вимірювань з використанням рефлектометра-універсальний.

На точність вимірювань цим методом в основному впливають:

- локальне модове розподілення;
- непостійність коефіцієнту зворотнього розсіювання вздовж світловоду;
- нестабільність випромінювача та фотоприймача.

Недоліками методу є невеликий динамічний діапазон вимірювань, обумовлений малою потужністю випромінювання зворотнього розсіювання, що приходить до фотоприймача, та необхідність застосування складної надчутливої, широкосмугової електроніки для реалізації цього методу. Цей метод має також ряд важливих переваг. Перш за все це неруйнуючий метод. Крім цього, в даному методі не потрібно знати потужність випромінювання, яка вводиться до світловоду, при кожному вимірюванні, що в інших методах є важливою умовою вимірювань. Неменш важливою перевагою методу вимірювань рефлектометром є також можливість проведення вимірювань з одної або з другої кінцівки світловоду.

Дані вимірювань заносять до протоколів профілактичних вимірювань параметрів оптичного кабелю, де вказують:

- криву зворотнього розсіювання;
- значення загасання всього кабелю та на характерних ділянках;
- відстані до місць обриву та до інших характерних місць;
- довжину хвилі та спектральну ширину джерела випромінювання;
- тип, заводські номери і дату перевірки (атестації) обладнання, що використовується;
- похибку результату вимірювань.

За результатами вимірювань визначається місце пошкодження ВОЛЗ та приймається рішення щодо заходів, яких слід вжити, аби усунути пошкодження.

Методи знаходження пошкоджень ВОЛЗ систематизовано в табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Несправності систем передачі та методи їх усунення

Дані вимірювань	Несправність	Метод знаходження	Метод усунення
$A_{A-B,(B-A)} > P$	Збільшення загального загасання регенераційної ділянки.	Вимірювання оптичними тестерами.	Ремонт оптичного кабелю.
	Збільшення окремих будівельних довжин оптичного волокна.	Вимірювання рефлектометром.	Заміна будівельних довжин з підвищеним коефіцієнтом загасання.

Продовження таблиці 2.11

Дані вимірювань	Несправність	Метод знаходження	Метод усунення
	Збільшення втрат в місцях з'єднання оптичних волокон.	Вимірювання рефлектометром.	Монтаж муфт з підвищеними втратами в з'єднаннях оптичних волокон.
	Збільшення втрат у ШСЗ	Вимірювання рефлектометром.	Заміна ШСЗ з підвищеним загасанням
$A_{A-B,(B-A)} > 70\text{дБ}$	Обрив оптичного волокна.	Вимірювання оптичними тестерами.	Ремонт оптичного кабелю.
	Обрив оптичного волокна у муфті.	Вимірювання рефлектометром.	Монтаж муфти.

	Обрив оптичного волокна в оптичному кабелі.	Вимірювання рефлектометром.	Монтаж вставки оптичного кабелю.
$A_{A-B,(B-A)} \gg A_{B-A,(A-B)}$	Пошкоджений роз'єм ШСЗ на станції А(Б).	Вимірювання оптичними тестерами. Візуальний огляд роз'єму.	Заміна ШСЗ на станції А(Б).

A_{A-B} - загальне загасання оптичного волокна в напрямку від пункту А до Б;

A_{B-A} - загальне загасання оптичного волокна в напрямку від пункту Б до А;

P - енергетичний потенціал системи.

2.7 Висновок

Мале значення коефіцієнту загасання в широкій смузі передаваних частот, тобто ВОЛЗ забезпечують високу пропускну спроможність і великі довжини регенераційних ділянок, що дозволяє майже завжди при організації міжстанційних з'єднувальних ліній розміщувати лінійні регенератори в будівлях АТС і відмовитись від необхідності організації дистанційного живлення

Розроблена міжстанційна волоконно-оптична лінія зв'язку дозволя організувати необхідну кількість каналів як для існуючих жителів селища так і для планованих заселень і значно покращить якість роботи мережі зв'язку даного селища. Користувачу мережі дається великий вибір телекомунікаційних послуг.

РОЗДІЛ 3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Техніко-економічне обґрунтування доцільності застосування ВОСП

Для техніко-економічного обґрунтування використання ВОСП ІКМ-480-5 розглянемо два варіанти організації зв'язку.

В першому варіанті буде використовуватись ЦСП ІКМ-120-5 з блоком ОВГ-25 (обладнання вторинного групоутворення). Оптичний кабель ОКЛБг, що використаний для прокладки міжстанційної ВОЛЗ, враховуючи загальну кількість каналів та технічні характеристики апаратури системи передачі (два оптичних волокна для організації 120 каналів ТЧ), буде мати таку кількість волоконних світловодів:

Придніпровськ та Любимівка – ОКЛБг-03-24/0 (24 оптичних волокна, з яких 20 працюючих, 4 – запас);

У другому варіанті буде використовуватись волоконно-оптичний кабель зв'язку ОКЛБг-03-8/0 (Придніпровськ та Любимівка) з установленням цифрової системи передачі ІКМ-480-5 з блоком ОТГ-35.

Відстані ВОЛЗ між АТС в обох варіантах однакові.

3.2 Розрахунок капітальних витрат

Загальні капітальні витрати визначаються за формулою:

$$K = K_{об} + K_{лін} + K_{еж}, \quad (3.1)$$

де $K_{об}$ - капітальні витрати на обладнання, тис. грн;

$K_{лін}$ - капітальні витрати на лінійні споруди, тис. грн;

$K_{еж}$ - капітальні витрати на установки електроживлення.

3.2.1 Розрахунок капітальних витрат для першого варіанту організації зв'язку

Для спрощення розрахунку кошторис капітальних витрат на обладнання та потужність енергоспоживання цим обладнанням представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Кошторис витрат на придбання обладнання і потужність його енергоспоживання

Найменування видів обладнання	Кількість одиниць, шт.	Вартість, тис. грн.		Потужність енергоспоживання, кВт	
		одиниці	загальна	одиниці	загальна
ОСА-13	108	3,5	378	0,012	1,296
АЦО-11	108	7	756	0,02	2,16
УСО-01	3	6	18	0,06	0,18
ОВГ-25	8	15,54	124,32	0,05	0,4
КЛТ-25	20	13,9	278	0,05	1
СКУ-01	3	1,75	52,5	-	-
ОСП-05-01	6	4,3	25,8	-	-
УСЬОГО	256	-	1632,62	-	5,036

Для розрахунку капітальних витрат на обладнання використовується формула:

$$K_{об} = K_{об} \cdot K_{накл} \cdot K_{монт}, \quad (3.2)$$

де $K_{об}$ - підсумкова сума витрат на придбання обладнання, виходячи з кількості обладнання і покупних цін без ПДВ (податку на додану вартість), тис. грн;

$K_{накл}$ - коефіцієнт, що враховує накладні транспортно-заготівельні витрати;

$K_{монт}$ - коефіцієнт, що враховує витрати на монтаж наладку.

За формулою (3. 2) обчислимо капітальні витрати на обладнання, при $K_{накл} = 1,07$ та $K_{монт} = 1,3$:

$$K_{об} = 1632,62 \cdot 1,07 \cdot 1,3 = 2270,974 \text{ тис. грн}$$

Для розрахунку капітальних витрат на придбання, доставку і прокладку кабелю використовується формула:

$$K_{\text{лін}} = K_{\text{каб}} \cdot \kappa_{\text{н}} \cdot \kappa_{\text{монт}}, \quad (3.3)$$

де $K_{\text{каб}}$ - вартість придбання кабелю з урахуванням норм запасу, тис. грн;
 $\kappa_{\text{н}}$ - коефіцієнт, що враховує накладні транспортно-заготівельні витрати;
 $\kappa_{\text{монт}}$ - коефіцієнт, що враховує витрати на будівельно-монтажні роботи.
Вартість придбання кабелю визначається за формулою:

$$K_{\text{каб}} = L_{\text{каб}} \cdot \Pi_{\text{каб}}, \quad (3.4)$$

де $L_{\text{каб}}$ - довжина кабелю, що необхідна для побудови ВОЛЗ, км;

$\Pi_{\text{каб}}$ - ціна кілометру кабелю, який прокладається на ВОЛЗ, тис. грн./км.

Між Придніпровськом та Любимівкою прокладається кабель ОКЛБг-03-24/0, ціна якого за кілометр складає 17,225 тис. грн., тому:

$$K_{\text{каб}} = 8,4 \cdot 17,225 = 144,69 \text{ тис. грн.}$$

Обчислимо за формулою (3.3) капітальні витрати на лінійні споруди, де $\kappa_{\text{н}} = 1,07$ та $\kappa_{\text{монт}}$ для оптичного кабелю дорівнює 2,6:

$$K_{\text{лін}} = 144,69 \cdot 1,07 \cdot 2,6 = 402,528 \text{ тис. грн.}$$

Розрахунок капітальних витрат на установки електроживлення ($K_{\text{еж}}$) залежить від кількості каналів тракту і визначається за формулою:

$$K_{\text{еж}} = K_{\text{тч}} \cdot \kappa_{\text{випр}}, \quad (3.5)$$

де $K_{\text{тч}}$ - кількість каналів тональної частоти, тис. кан;

$\kappa_{\text{випр}}$ - капітальні витрати на одну тисячу каналів, тис. грн./1 тис. км.

Обчислимо $K_{\text{еж}}$, при

$$\kappa_{\text{тч}} = 1,6 \text{ тис. кан.}, \kappa_{\text{випр}} = 0,25 \text{ тис. грн./1 тис. кан.}:$$

$$K_{\text{еж}} = 1,6 \cdot 0,25 = 0,4 \text{ тис. грн.}$$

Обчислимо загальні капітальні витрати за формулою (3. 1):

$$K = 2270,974 + 402,528 + 0,4 = 2673,902 \text{ тис. грн.}$$

3.2.2 Розрахунок капітальних витрат для другого варіанту організації зв'язку

Для спрощення розрахунку кошторис капітальних витрат на обладнання та потужність енергоспоживання цим обладнанням представлені в табл. 3. 2.

Таблиця 3.2 – Кошторис витрат на придбання обладнання і потужність його енергоспоживання

Найменування видів обладнання	Кількість одиниць, шт.	Вартість, тис. грн.		Потужність енергоспоживання, кВт	
		одиниці	загальна	одиниці	загальна
ОСА-13	108	3,5	378	0,012	1,296
АЦО-11	108	7	756	0,02	2,16
УСО-01	3	6	18	0,06	0,18
ОТГ-35	5	33,33	166,65	0,015	0,075
КЛТ-35	3	31,35	94,05	0,015	0,045
СКУ-01	3	1,75	52,5	-	-
ОСП-05-01	3	4,3	12,9	-	-
УСЬОГО	233	-	1478,1	-	3,756

Обчислимо капітальні витрати на обладнання за формулою (3. 2):

$$K_{об} = 1478,1 \cdot 1,07 \cdot 1,3 = 2056,037 \text{ тис. грн.}$$

За формулою (11. 4) визначимо вартість придбання кабелю для ВОЛЗ.

Між Придніпровськом та Любимівкою прокладається кабель ОКЛБг-03-8/0 (розділ 4), ціна якого за кілометр складає 9,805 тис. грн., тому:

$$K_{каб1} = 8,4 \cdot 9,805 = 82,362 \text{ тис. грн.}$$

Обчислимо за формулою (3. 3) капітальні витрати на лінійні споруди, де $K_n = 1,07$ та $K_{монт}$ для оптичного кабелю дорівнює 2,6:

$$K_{лін} = 82,362 \cdot 1,07 \cdot 2,6 = 229,131 \text{ тис. грн.}$$

Капітальні витрати на установки електроживлення в першому та другому варіантах організації зв'язку однакові, оскільки кількість каналів рівна.

Визначимо за формулою (3.1) загальні капітальні витрати другого варіанту організації зв'язку:

$$K_2 = 2056,037 + 229,131 + 0,4 = 2285,568 \text{ тис. грн}$$

3.3 Розрахунок поточних експлуатаційних витрат

Визначимо експлуатаційні витрати для кожного варіанту організації зв'язку за формулою:

$$EB = M + ЗП + Відр + A + E + Ін, \quad (3.6)$$

де М - матеріальні витрати, тис. грн.;

ЗП - заробітна плата експлуатаційного персоналу, тис. грн.;

Відр - відрахування у фонди соціального призначення, тис. грн.;

А - амортизаційні відрахування, тис. грн.;

Е - витрати на електроенергію, тис. грн.;

Ін - інші витрати, тис. грн.

3.3.1 Розрахунок поточних експлуатаційних витрат для апаратури ІКМ-120-5

Для визначення фонду заробітної плати по обслуговуванню апаратури ІКМ-120-5, визначимо чисельність персоналу по встановлених нормативах приведених у табл. 3. 3.

Таблиця 3.3 – Трудомісткість технічного персоналу обслуговування апаратури ІКМ-120-5 і лінійних споруджень

Вид обладнання і лінійних споруджень.	Одиниця вим.	Кільк. одиниць	Норматив				Чисельність			
			Інж.	Ел. мех.	Ел. монт.	Каб. спай.	Інж.	Ел. мех.	Ел. монт.	Каб. спай.
Апарат. ІКМ-120-5	систем.	14	0,018	0,02	0,008	-	0,252	0,28	0,112	-
Кабель ОКЛБГ-03-24/0	км	1,575	0,568	0,568	1,2	0,36	0,895	0,895	1,89	0,567

Чисельність персоналу дорівнює:

$$\text{ЧП} = 0,252 + 0,28 + 0,112 + 0,895 + 0,895 + 1,89 + 0,567 = 4,891 \approx 5 \text{ чол.}$$

Виходячи з того, що середня заробітна плата одного працівника складає 5800 грн. на місяць, визначимо річний фонд заробітної плати за формулою:

$$\text{ЗП} = \text{ЗП}_{\text{міс}} \cdot 12 \cdot \text{ЧП}, \quad (3.7)$$

де $\text{ЗП}_{\text{міс}}$ - середньомісячна зарплата одного працюючого, з урахуванням всіх заохочувальних виплат, тис. грн.;

ЧП - чисельність персоналу, чол.

$$\text{ЗП} = 5,8 \cdot 12 \cdot 5 = 348 \text{ тис. грн.}$$

Єдиний соціальний внесок визначаються в розмірі 37,5% від фонду заробітної плати:

$$\text{Відр} = 0,375 \cdot \text{ЗП}, \quad (3.8)$$

де ЗП-фонд заробітної плати, тис. грн.;

Відр = $0,375 \cdot 348 = 130,5$ тис. грн.

Амортизаційні відрахування розраховуємо по нормах для кожного виду основних фондів за формулою:

$$A = \sum_i^n \Phi_i \cdot a, \quad (3.9)$$

де Φ - початкова вартість основних фондів (придбання апаратури, придбання кабелю, лінійних споруджень), тис.грн.

$A=2270,974 \cdot 0,08+402,528 \cdot 0,08=213,88$ тис. грн.

Матеріальні витрати (включаючи витрати на запчастини) можна визначити за формулою:

$$M = (K_{каб} + K_{об}) \cdot 0,015, \quad (3.10)$$

де $K_{каб}$ - капітальні витрати на придбання кабелю, тис. грн.;

$K_{об}$ - капітальні витрати на придбання обладнання, тис. грн.

$M=(144,69+1632,62) \cdot 0,015=26,660$ тис. грн.

Витрати на оплату електроенергії визначаються за формулою:

$$E=P \cdot T \cdot t, \quad (3.11)$$

де P - сумарна потужність обладнання, кВт;

T - тариф на електроенергію, грн/кВт год;

t - кількість годин роботи обладнання за рік (при безперервному цілодобовому енергоспоживанні-8760 годин на рік)

$E=5,036 \cdot 1,82 \cdot 8760=80289$ грн чи 80,289 тис. грн.

Інші витрати приймаються у розрахунку 4 % від річного фонду заробітної плати.

$$I_n=0,04 \cdot 3П, \quad (3.12)$$

$I_n=0,04 \cdot 348=13,92$ тис. грн.

Таким чином підставляючи всі отримані значення у формулу (11. 6) одержуємо експлуатаційні витрати:

$$EB=348+130,5+213,88+26,660+80,289+13,92=813,249 \text{ тис. грн.}$$

Експлуатаційні витрати для першого варіанту організації зв'язку зведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Експлуатаційні витрати для першого варіанту організації зв'язку

Види витрат	Сума витрат, тис. грн.	Структура витрат, %
Заробітна плата виробничого персоналу	348	42,8
Відрахування у фонди соціального призначення	130,5	16,0
Амортизаційні відрахування	213,88	26,3
Матеріальні витрати	26,660	3,3
Витрати на електроенергію	80,289	9,9
Інші витрати	13,92	1,7
УСЬОГО	813,249	100,0

3.3.2 Розрахунок поточних експлуатаційних витрат для апаратури ІКМ-480-5 з блоком ОТГ-35

Для визначення фонду заробітної плати по обслуговуванню апаратури ІКМ-480-5 (ОТГ-35), визначимо чисельність персоналу по встановлених нормативах приведених у табл. 3.5.

Таблиця 3.5 – Трудомісткість технічного персоналу обслуговування апаратури ІКМ-120-5 і лінійних споруджень

Вид обладнання і лінійних споруджень.	Одиниця вим.	Кільк. одиниць	Норматив				Чисельність			
			Інж.	Ел. мех.	Ел. монт.	Каб. спай.	Інж.	Ел. мех.	Ел. монт.	Каб. спай.
Апарат. ІКМ-480-5	систем.	4	0,007	0,009	0,005	-	0,028	0,036	0,02	-
Кабель ОКЛБГ-03-8/0	км	1,575	0,189	0,189	0,4	0,12	0,298	0,298	0,63	0,189

Чисельність персоналу дорівнює:

$$\text{ЧП} = 0,028 + 0,036 + 0,02 + 0,298 + 0,298 + 0,63 + 0,189 = 1,499 \approx 2 \text{ чол.}$$

Виходячи з того, що середня заробітна плата одного працівника складає 5800 грн. на місяць, визначимо річний фонд заробітної плати за формулою (3.7):

$$\text{ЗП} = 5,8 \cdot 12 \cdot 2 = 139,2 \text{ тис. грн.}$$

Відрахування у фонди соціального призначення визначаються за формулою (3. 8):

$$\text{Відр} = 0,375 \cdot 139,2 = 52,2 \text{ тис. грн.}$$

Амортизаційні відрахування розраховуємо за формулою (3. 9):

$$\text{А} = 2056,037 \cdot 0,08 + 82,362 \cdot 0,08 = 171,072 \text{ тис. грн.}$$

Матеріальні витрати визначимо за формулою (3.10):

$$\text{М} = (82,362 + 1478,1) \cdot 0,015 = 23,407 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на оплату електроенергії визначимо за формулою (3. 11):

$$E=3,756 \cdot 1,82 \cdot 8760=59882 \text{ грн чи } 59,882 \text{ тис. грн.}$$

Інші витрати визначимо за формулою (3. 12):

$$I_n=0,04 \cdot 139,2=5,568 \text{ тис. грн.}$$

Таким чином підставляючи всі отримані значення у формулу (3. 6) одержуємо експлуатаційні витрати:

$$E_n=139,2+52,2+171,072+23,407+59,882+5,568=241,558 \text{ тис. грн.}$$

Експлуатаційні витрати для другого варіанту організації зв'язку зведені в табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Експлуатаційні витрати для другого варіанту організації зв'язку

Види витрат	Сума витрат, тис. грн.	Структура витрат, %
Заробітна плата виробничого персоналу	139,2	34,9
Відрахування у фонди соціального призначення	52,2	13,1
Амортизаційні відрахування	171,072	42,9
Матеріальні витрати	23,407	5,9
Витрати на електроенергію	7,239	1,8
Інші витрати	5,568	1,4
УСЬОГО	398,686	100

3.4 Визначення показника річного економічного ефекту, річного прибутку, економічної ефективності

Розрахунок річних прибутків та оцінка економічної ефективності при першому варіанті організації зв'язку.

Визначення річної суми доходів експлуатаційного підприємства, що обслуговує проєктовану ділянку може здійснюватись за емпіричною усередненою формулою:

$$D = (327,6 \cdot N_{mf} + 1029,6 \cdot L_{mp}) \cdot K_{зб}, \quad (3.13)$$

де D - річна сума доходів, тис. грн;

N_{mf} - кількість каналів тональної частоти;

L_{mp} - довжина траси, км;

$K_{зб}$ - коефіцієнт збільшення тарифних доходів.

Обчислимо D , якщо $N_{mf} = 1600$, $L_{mp} = 8,4$, $K_{зб} = 1,3$:

$$D = (327,6 \cdot 1600 + 1029,6 \cdot 8,4) \cdot 1,3 = 692,651 \text{ тис. грн.}$$

Річна (середньорічна) сума прибутку від надання послуг зв'язку (прибуток до сплати податків) визначається як різниця між річними (середньорічним) доходом і відповідною сумою експлуатаційних витрат:

$$П = D - EB, \quad (3.14)$$

де D - річна сума доходу, тис. грн;

EB - річна сума експлуатаційних витрат, тис. грн.

$$П = 692,651 - 813,249 = -120,598 \text{ тис. грн.}$$

Прибуток після сплати податків (чистий прибуток) визначається як:

$$ЧП = П \cdot (1 - 0,18), \quad (3.15)$$

де 0,18-ставка прибуткового податку (18%);

Зробимо оцінку економічної ефективності.

У числі показників економічної ефективності капіталовкладень:

-коефіцієнт загальної економічної ефективності;

-термін окупності.

Коефіцієнт загальної економічної ефективності капіталовкладень визначається за формулою:

$$K_{ef} = \Pi/K, \quad (3.16)$$

де Π - річна сума прибутку, тис. грн;

K -сумарні капітальні витрати, тис. грн.

Термін окупності капітальних витрат визначається по формулі:

$$T_{ок} = K/\Pi, \quad (3.17)$$

Визначимо за формулою (3. 13) річну суму доходів:

$$Д=(327,6 \cdot 1600+1029,6 \cdot 8,4) \cdot 1,3=692,651 \text{ тис. грн.}$$

Обчислимо річну суму прибутку від надання послуг зв'язку до сплати податку за формулою (3.14):

$$\Pi=692,651-398,686=293,965 \text{ тис. грн.}$$

Визначимо чистий прибуток за формулою (3.15):

$$\text{ЧП}=293,965 \cdot (1-0,18)=241,051 \text{ тис. грн.}$$

Обчислимо коефіцієнт загальної економічної ефективності по формулі (3. 16):

$$K_{ef} = 241,051/2285,568 = 0,105$$

Термін окупності капітальних витрат визначимо по формулі (3. 17):

$$T_{ок} = 2285,568/241,051 = 9,48 \text{ року.}$$

3.5 Вибір оптимального варіанту

Техніко-економічні показники порівнювальних варіантів організації зв'язку приведені в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Техніко-економічні показники

Види витрат	ІКМ-120-5 сума витрат, тис.грн	ІКМ-480-5 сума витрат, тис.грн	Різниця суми витрат, тис.грн
Устаткування	1632,62	1478,1	- 154,52
Капіталовкладення	2673,902	2285,568	- 388,334
Експлуатаційні витрати	813,249	398,686	- 414,563

3.6 Висновок

З табл. 3.7. видно, що будувати системи передачі на оптичному кабелі з використанням апаратури ІКМ-480-5 (ОТГ-35) вигідніше, ніж із використанням апаратури ІКМ-120-5. Це дозволяє скоротити кількість устаткування на 154,52 тис. грн, капіталовкладення - на 388,334 тис. грн, експлуатаційні витрати - на 414,563 тис. грн. Таким чином, річний економічний ефект від застосування апаратури ІКМ-480-5 з блоком ОТГ-35 у порівнянні із застосуванням апаратури ІКМ-120-5 дорівнює 241,051 тис. грн.

ВИСНОВКИ

В ході виконання дипломної роботи були розглянуті основні поняття волоконо-оптичної лінії зв'язку та її переваги.

В спеціальній частині дипломного проекту розроблена волоконо-оптична мережа зв'язку селища Любимівка, для підвищення якості зв'язку, надання абонентам нових видів послуг. Наявність великої чисельності населення, зайнятих в основному у сфері тваринництва, селянських господарств і приватних підприємств приведе до значного збільшення числа абонентів. Проектуєма міжстанційна волоконно-оптична лінія зв'язку (ВОЛЗ) дозволить організувати необхідну кількість каналів і значно покращить якість роботи мережі зв'язку даного селища.

В даному дипломному проекті розглянуте питання розрахунку основних параметрів волоконного світловоду, а також питання прокладки і монтажу оптичного кабелю. Як додаткове питання, розглянуто комплекс вимірювань параметрів ВОЛЗ при експлуатації. Для організації зв'язку між АТС використовується цифрова система передачі ІКМ-480-5.

В економічному розділі виконано техніко-економічне обґрунтування проектних рішень доведена їх технічна ефективність.

Практична цінність дипломного проекту полягає в тому, що розроблена волоконо-оптична мережа зв'язку може знайти практичне використання в селищах з аналогічним станом АТС та розвитком внутрішнього життя.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи – М. Радио и связь 1990г. – 224ст.
- 2 Гауэр Дж. Оптические системы связи: Пер. С англ./под ред. А.И. Ларкина – М.: Радио и связь 1988г. – 504ст.
- 3 Волоконно-оптические системы передачи . М.М. Бужусов, С.Н. Верлик, С.Л. Гаякин – М.: Радио и связь 1992 – 416ст.
- 4 Волоконно-оптические системы передачи и кабели: Справочник / И.И. Троднев, А.Г. Мурадян, Р.М. Шарафутдион и др. – М.: Радио и связь, 1993г. – 264ст.
- 5 Мурадян А.Г. Оптические кабели связи многоканальных линий связи. – М.: Радио и связь ,1987 – 200ст.
- 6 Волоконно-оптические линии связи: Справочник / Л.М. Адрушенко, В.Б. Каток и др. – Киев: Техника, 1998 – 240ст.
- 7 Оптика и связь / А. Казане, Ж. Флере, Г. Мэтр, М. Руссо / пер. С франц. – М.Мир, 1984 – 504ст.
- 8 Конструкция, прокладка, соединение и защита оптических кабелей связи. – Международный союз электросвязи, Женева 1994 – 161ст.
- 9 Строительство и техническая эксплуатация ВОЛС. Под редакцией Б.В. Гопова – М.: Радио и связь, 1996 – 200ст.
- 10 ДНАОП 5.2.30-1.07-96 Правила безопасности при работах на кабельных линиях связи и проводного вещания
- 11 НАПБ В.01.053-2000/520 Правила пожарной безопасности в отрасли связи (Киев 2001).

ДОДАТОК А. Відомість матеріалів дипломної роботи

№	Формат	Найменування	Кількість листів	Примітка
1	A4	Реферат	3	
2	A4	Список умовних скорочень	1	
3	A4	Зміст	2	
4	A4	Вступ	2	
5	A4	1 Розділ	12	
6	A4	2 Розділ	50	
7	A4	3 Розділ	13	
8	A4	Висновки	1	
9	A4	Список літератури	1	
10	A4	Додаток А	1	
11	A4	Додаток Б	1	
12	A4	Додаток В	1	
13	A4	Додаток Г	1	

ДОДАТОК Б. Перелік документів на оптичному носії

- 1 Титульна сторінка.doc
 - 2 Завдання.doc
 - 3 Реферат.doc
 - 4 Список умовних скорочень.doc
 - 5 Зміст.doc
 - 6 Вступ.doc
 - 7 Розділ 1.doc
 - 8 Розділ 2.doc
 - 9 Розділ 3.doc
 - 10 Висновки.doc
 - 11 Перелік посилань.doc
 - 12 Додаток А.doc
 - 13 Додаток Б.doc
 - 14 Додаток В.doc
 - 15 Додаток Г.doc
- Презентація.pptx

ДОДАТОК В. Відгуки керівників розділів

Відгук керівника економічного розділу:

Керівник розділу

(підпис)

(ініціали, прізвище)

ДОДАТОК Г. ВІДГУК

на дипломну роботу бакалавра на тему:

Розробка волоконно-оптичної системи передачі для приміського селища
студента групи 172-1бзск-1
Зеленського Дмитра Олеговича

Пояснювальна записка складається з титульного аркуша, завдання, реферату, списку умовних скорочень, змісту, вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань та додатків, розташованих на __ сторінках та містить __ рисунків, __ таблиць, __ джерел та __ додатка.

Об'єкт розробки: волоконно-оптична лінія зв'язку.

Мета дипломного проекту: розробка волоконно-оптичної мережі зв'язку селища Любимівка.

У вступі розглянуто історичний розвиток волоконно-оптичної системи передачі інформації.

В загальній частині висловлені загальні відомості сільській місцевості, також був виконаний огляд системи передачі ІКМ-480-5.

В спеціальній частині розроблена волоконно-оптична лінія зв'язку між селищем Любимівка і житловим масивом Придніпровськ.

Зміст та структура дипломної роботи дозволяють розкрити поставлену тему повністю.

Студент показав достатній рівень володіння теоретичними положеннями з обраної теми, показав здатність формувати власну точку зору (теоретичну позицію).

Робота оформлена та написана грамотною мовою. Містить необхідний ілюстрований матеріал. Автор добре знає проблему, уміє формулювати наукові та практичні завдання і знаходить адекватні засоби для їх вирішення.

В цілому дипломна робота задовольняє усім вимогам і може бути допущена до захисту, а його автор заслуговує на оцінку «_____».

Керівник дипломної роботи,
д.т.н., проф.

Корнієнко В.І.