

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до дипломної роботи
фахового молодшого бакалавра**

на тему: **Побудова та оптимізація оптичної лінії між Львовом і Ужгородом
з застосуванням CWDM-технології**

Виконав студент IV курсу, групи ТК-41
спеціальності 172 Телекомунікації та
радіотехніка
ОПП «Телекомунікації та комп'ютерні
технології»
Медведюх Андрій Васильович

Керівник	_____	Олег ЛЕЩАК
	(підпис)	
Нормоконтролер	_____	Володимир ПЛІШ
	(підпис)	
Рецензент	_____	Олександра ЗАГОРЯНСЬКА
	(підпис)	
Голова ЕК	_____	Андрій ВАХ
	(підпис)	
Члени ЕК	_____	Ігор ТИБЕЛЬ
	(підпис)	
	_____	Володимир ПЛІШ
	(підпис)	

Дипломна робота захищена в ЕК «___» _____ 2025 р.

з оцінкою «_____»

Львів 2025

**ВІДОКРЕМЛЕНИЙ СТРУКТУРНИЙ ПІДРОЗДІЛ
«ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

Циклова комісія	<i>Телекомунікації</i>
Освітньо-професійний ступінь	<i>Фаховий молодший бакалавр</i>
Освітньо-професійна програма	<i>Телекомунікації та комп'ютерні технології</i>
Спеціальність	<i>172 Телекомунікації та радіотехніка</i>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач відділення
«Телекомунікацій та
комп'ютерних технологій»
_____ Ігор ТИБЕЛЬ
« 25 » квітня 2025 року

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ**

Медведюху Андрію Васильовичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи	<i>Побудова та оптимізація оптичної лінії між Львовом і Ужгородом з застосуванням CWDM-технології</i>
----------------	---

Керівник роботи	<i>Олег ЛЕЩАК викладач вищої категорії,</i> (ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)
-----------------	---

затверджені наказом директора від “ 20 ” березня 2025 року № 20-СТ

2. Строк подання студентом роботи “10” червня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи 3.1 Побудувати оптичну лінію зв'язку на ділянці Львів-Ужгород.

3.2 Застосувати оптичний кабель типу ОКЛБг-3- ДА12- 2x4E-0,40 Ф3,5/0,30 Н19 – 8/0.

3.3 Використати обладнання і технологію CWDM.

3.4 Розрахувати параметри оптичної лінії.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

4.1 Вибір траси.

4.2 Технологія CWDM.

4.3 Визначення оптичних параметрів ОВ.

4.4 Розрахунок параметрів передачі оптичного волокна

4.5 Схема організації зв'язку

4.6 Техніко-економічне обґрунтування

4.7 Охорона праці та безпека життєдіяльності

5. Перелік графічного матеріалу

5.1.	<i>Конструкція кабеля</i>
5.2.	<i>Характеристика варіантів траси ВОЛЗ</i>
5.3.	<i>Структура CWDM.</i>
5.4.	<i>Робота системи CWDM по одному волокну.</i>
5.5.	<i>Схема організації зв'язку.</i>

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Ім'я, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання отримав
Техніко-економічне обґрунтування	<i>Мар'яна СМУК викладач вищої категорії</i>	25.04.2025р.	25.04.2025р
Охорона праці та безпека життєдіяльності	<i>Олена МЕЛЬНИКОВА викладач першої категорії</i>	25.04.2025р.	25.04.2025р.

7. Дата видачі завдання « 25 » квітня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання	Примітка
1	<i>Вступ. Вибір траси.</i>	25.04-01.05	
2	<i>Технологія CWDM.</i>	02.05-08.05	
3	<i>Визначення оптичних параметрів ОВ. Розрахунок параметрів передачі оптичного волокна</i>	09.05-15.05	
4	<i>Схема організації зв'язку</i>	16.05-22.05	
5	<i>Техніко – економічне обґрунтування</i>	23.05-29.05	
6	<i>Охорона праці та безпека життєдіяльності</i>	30.05-03.06	
7	<i>Висновки</i>	04.06-05.06	
8	<i>Підготовка графічного матеріалу.</i>	06.06-09.06	

Здобувач

(підпис)

Андрій МЕДВЕДЮХ

(ім'я, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Олег ЛЕЦАК

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи: 55 с., 9 рис., 4 табл., 1 додаток, 7 джерел.

Об'єкт дослідження – система передачі ВОЛЗ, лінійний оптоволоконний кабель.

Мета роботи – побудувати оптичну лінію з використанням обладнання CWDM.

Метод дослідження – теоретичне дослідження системи передачі оптичного волокна з заданими параметрами та її застосування на заданій території.

У випускній роботі проведено аналіз системи передачі, зроблено вибір конструкції та марки кабелю, розраховано основні параметри кабелю.

Розглянуто методи прокладання оптичного кабелю в залежності від місця розташування, здійснено техніко-економічне обґрунтування, та описані загальні положення з охорони праці.

КАБЕЛЬНА МАГІСТРАЛЬ, НАДІЙНІСТЬ СИСТЕМИ,
РЕГЕНЕРАЦІЙНИЙ ПУНКТ, ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ,
ЦИФРОВА СИСТЕМА ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ВИБІР ТРАСИ	7
1.1 Характеристика кабелю.....	7
1.2 Вибір та побудова траси.....	10
1.3 Правила проектування ВОЛЗ.....	12
1.4 Розробка транспортної мережі.....	13
2 ТЕХНОЛОГІЯ CWDM.....	16
2.1 Основи CWDM	16
2.2 Мультиплексор, внутрішня будова та принцип роботи.....	18
2.3 STM 1.....	21
2.4 STM 16.....	22
3 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОВ	24
4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАЧІ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА	29
4.1 Визначення втрати ОВ	29
4.2 Розрахунок дисперсії сигналу.....	30
4.3 Розрахунок довжини регенераційної ділянки.....	31
4.4 Розрахунок довжини рд по дисперсії.....	32
5. СХЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВ'ЯЗКУ.....	34
5.1 Розміщення станцій на магістралі.....	34
6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	38
6.1 Розрахунок капітальних вкладень на будівництво ВОЛЗ	38
6.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат	40
6.3 Розрахунок доходів від основної діяльності	42
6.4 Розрахунок терміну окупності	42
7 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	43
7.1 Загальні положення	43
7.2 Інструменти та пристосування	43
7.3 Монтажні роботи	44
ВИСНОВКИ	48
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	49
КОПІЇ ОBOB'ЯЗКОВИХ КРЕСЛЕНЬ	50

ВСТУП

Телефонізація нерозривно пов'язана з розвитком первинної мережі, зміною топології місцевих телефонних мереж загального користування, їх цифровізацією і впровадженням нових технологій АТМ, SDH (Synchronous Digital Hierarchy – синхронної цифрової ієрархії). Перспективи розвитку транспортних мереж полягають у подальшій цифровізації магістральної первинної мережі в будівництві волоконно-оптичних ліній передачі (ВОЛП), виконаних за технологією синхронної цифрової ієрархії (SDH). Системи СЦ забезпечують швидкості передачі від 155 Мбіт/с і вище і можуть транспортувати як сигнали існуючих цифрових систем, так і нових перспективних служб, у тому числі широкосмугових. Апаратура SDH є програмно керованою і інтегрує в собі засоби перетворення, передачі, оперативного перемикавання, контролю, управління. Тому впровадження SDH являє собою якісно новий етап розвитку цифрової мережі зв'язку. Сьогодні системи передачі SDH визнані у всьому світі як найбільш сучасна і добре відпрацьована технологія для побудови транспортних мереж зв'язку. Практично всі розвинені країни широко застосовують системи передачі SDH, а деякі розвивають свої мережі тільки на базі систем передачі SDH вже з 1996 року. Провідні фірми – виробники різко скоротили виробництво апаратури плезіохрона ЦСП. Альтернативи застосуванню систем передачі SDH на широкосмугових мультисервісних мережах донедавна фактично не існувало.

Однак надання користувачам мережі все більшого числа нових послуг і перехід на пакетні принципи передачі та комутації цифрових сигналів вимагають застосування в мережі високопродуктивного і багатofункціонального обладнання, що володіє необхідною масштабованістю, гнучкістю і надійністю. Зазначена проблема успішно вирішується шляхом комбінованого застосування цілого спектра новітніх технологій:

- 1) одномодових оптичних волокон типу TrueWave RS, TrueWave XL, All Wave компанії Lucent і типу SMF-28; LEAF, Metro Cor фірми Corning

- 2) технології тимчасового мультиплексування сигналів, зокрема, технології SDH різних рівнів;

- 3) технології щільного хвильового мультиплексування сигналів CWDM.

1 ВИБІР ТРАСИ

1.1 Характеристика кабелю

Системи працюють в діапазоні хвиль 1,3 мкм. У цьому діапазоні коефіцієнт загасання оптичних волокон значно менше, ніж в діапазоні 0,85 мкм, і для волокон, застосовуваних у вітчизняних кабелях випадках становить 0,7...1,5 дБ/км. Дисперсія на довжині хвилі 1,3 мкм мінімальна, так як має місце компенсація різнополяризованих і рівних складових - матеріальної і хвильової дисперсій.

На основі цих оптичних волокон вітчизняна промисловість випускає оптичні кабелі типу ОЗКГ-1 для внутрішньозонових мереж (ТУ 16.705.455-87). Вони призначені для прокладки в кабельній каналізації, трубах, блоках і колекторах, ґрунтах всіх категорій, крім схильних до мерзлотних деформацій, і в воді при перетині неглибоких боліт, несудноплавних і несплавних рік зі спокійною течією води (з обов'язковим заглибленням в дно), а також мостам. Прокладка кабелю може здійснюватись ручним або механізованим способом, а експлуатуватися кабель може при температурі навколишнього повітря від -40 до +55 ° С. Прокладка кабелю здійснюється при температурі навколишнього середовища не нижче -10 ° С.

Кабель ОЗКГ-1 оптичний з металічними арміруючими елементами, з центральним профілюючим осердям. В пази якого укладені оптичні волокна з градієнтним профілем показника заломлення, з чотирма мідними жилами дистанційного живлення або без них

Кабель стійкий до розтягування та стискання. Кабель розрахован на експлуатацію в діапазоні робочих температур від мінус 40 до плюс 55 градусів С.

Оптичні параметри кабелю ОЗКГ-1, його маса і конструктивні розміри наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика кабелю ОЗКГ- 1

Назва параметру	Значення
1 Кількість оптичних волокон ,шт.	4, 8
2 Коефіцієнт затухання, дБ км	0,7; 1,0; 1,5
3 Смуга пропускання на 1км, МГц	800

4 Довжина хвилі, мкм	1,3
5 Кількість мідних жил ДЖ, шт.	4
6 Зовнішній діаметр, мм	18,0 +2,0 -1,0
7 Максимальна маса 1км кабелю, кг	270,495
8 Довжина регенераційної ділянки, км	225
9 Номінальна будівельна довжина ОК, км	2,2

Конструктивно оптичний кабель ОЗКГ-1 складається з центрального профільованого елемента, упрочнюючих синтетичних волокон, оптичних волокон, проміжної поліетиленової оболонки, армуючого елемента із сталюю жилами в поліетиленовій оболонці, мідних жил в поліетиленовій оболонці та поверхневої захисної поліетиленової оболонки.

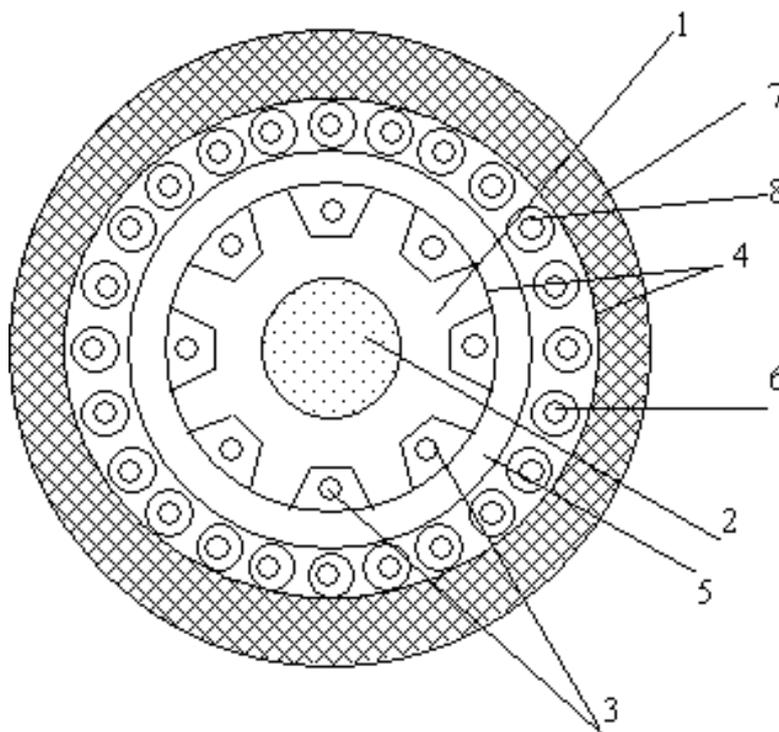


Рисунок 1.1 – Конструкція кабелю ОЗКГ

Кабель ОЗКГ складається з таких елементів конструкції (рис. 1.1):

1. профільоване осердя;
2. силовий елемент (метал, або міцний пластик);
3. оптичні волокна;
4. скріплюючі нитки;
5. внутрішня оболонка;
6. сталеві дроти (оплітка);
7. зовнішня захисна поліетиленова оболонка;

8. мідний провідник.

Даний оптичний кабель має металеві елементи з центральною профілюючою серцевиною, в пази якої вкладені оптичні волокна з градієнтними профілями показника заломлення і мідними жилами для дистанційного живлення НРП або без них.

Серцевиною називають внутрішню ділянку, яка складається з одної або декількох жил дуже тонких які виконані із скла або пластика. Діаметр серцевини складає від 8 до 100 мкм. Кожне волокно покрито плакіровкою, шаром скла або пластика, оптичні властивості якого відрізняються від властивостей серцевини. Границя розділу між серцевиною та плакіровкою, утримує світло яке у протилежному випадку вийшло би з серцевини, Зверху плакіровки знаходиться кожух для захисту волокон від сирості, зносу та інших зовнішніх факторів.

Оптоволокно передає закодований сигналом промінь світла шляхом повного внутрішнього відбиття. Промінь який видає джерело світла, поступає в циліндричне або пластикове осердя. Кут заломлення різний. При багатомодовій передачі існує багато шляхів розповсюдження, які мають різну довжину, а відповідно і час проходження світловоду. Такий тип волокон найчастіше застосовується на короткі відстані.

Оптоволокно застосовується в наступних областях:

- глобальні магістралі;
- регіональні магістралі;
- магістралі сільських мереж;
- абонентські лінії;
- локальні мережі.

Основні переваги кабелю ОЗКГ-1:

- можливість організації дистанційного живлення;
- можливість постійного контролю технічного стану ОК по опору ізоляції;
- велике розтягуюче зусилля за рахунок наявності броні.

Основні недоліки кабелю ОЗКГ-1:

- необхідність захисту від електромагнітних впливів і ударів блискавки;
- збільшення зовнішнього діаметру і маси;
- зменшення будівельної довжини;
- додаткові витрати міді і сталі;
- ускладнення монтажу з'єднувальних муфт.

1.2 Вибір та побудова траси

На сьогоднішній день в Україні нові магістральні, внутрішньо - зонові і міжстанційні лінії зв'язку будуються лише з використанням оптичних кабелів.

З використанням ОК розвиваються локальні кабельні мережі і мережі кабельного телебачення, обчислювальних, банківських і внутрішньо - об'єктових систем. Достатньо широке застосування ОК здійснюється на мережах широкопasmового абонентського доступу. Великі роботи по будівництву ВОСП проводять також оператори мобільного зв'язку. Перехід операторів мобільного зв'язку на технологію 3G характеризується стрімким ростом об'ємів інформації що передається. Задоволення необхідності в більшій пропускній здатності на момент реалізації проекту, а також подальше стратегічне планування вказують на необхідність використання на транспортних мережах апаратури спектрального розділення каналів (CWDM і DWDM).

Траса прокладки кабелю визначається розташуванням кінцевих пунктів. Всі вимоги, що враховуються при виборі траси, можна звести до трьох основних: мінімальні капітальні витрати на будівництво; мінімальні експлуатаційні витрати; зручність обслуговування.

Для забезпечення першої вимоги враховують протяжність траси, наявність і складність перетину річок, залізних і шосейних доріг, трубопроводів, характер місцевості, ґрунтів, ґрунтових вод.

Траса повинна мати найліпшу відстань між заданими пунктами і найменшу кількість перешкод, ускладнюють і здорожують будівництво. За межами населених пунктів трасу зазвичай вибирають в смузі відведення автомобільних доріг або уздовж профільованих сільських шляхів

Метою даної роботи є організація зв'язку між двома містами з використанням одномодового оптичного кабелю. Виконання проекту починається з вибору траси. Для цього необхідно, використовуючи карту України або атлас автомобільних доріг, розглянути можливі варіанти прокладання траси. Вибір траси визначається, передусім, розміщенням пунктів, між якими повинен бути забезпечений зв'язок. При цьому необхідно враховувати такі питання:

- траса, по можливості, повинна бути найкоротшою;
- перетинати найменшу кількість перешкод, які ускладнюють та підвищують вартість будівництва;
- максимальне застосування механізації при будівництві;
- створення умов для найбільш зручного обслуговування та експлуатації

лінії;

– мінімальні затрати по здійсненню захисту лінії від пристроїв силового струму і атмосферної електрики.

Можливі кілька варіантів проектування траси. Розглянемо два можливих маршрути. Порівняння по вище перелічених характеристикам проведемо в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Характеристика варіантів траси ВОЛЗ

Характеристика траси	Одиниця вимірювання	Кількість одиниць по варіантам	
		Варіант 1	Варіант 2
1. Загальна протяжність траси:	км	269	273
Уздовж шосейних доріг;		262	225
Вздовж залізниць;		-	8
Вздовж ґрунтових доріг;		-	14
Бездоріжжя		-	3
2. Місцевість по трасі:		-	-
Відкрита		255	56
Забудована		-	-
Заліснення		-	-
Заболочена		-	-
3. Кількість переходів:	кількість	-	-
Через непароходні річки;		7	12
Через залізниці;		3	4
Через шосейні дороги;		7	7

Перший варіант перетинає три рази залізницю і сім раз автомобільні дороги, сім раз річки і має меншу довжину, ніж другий і проходить по менш складній місцевості.

Другий варіант передбачає велику по протяжності трасу і більша його частина проходить вздовж ґрунтової дороги, по ярості і частково заліснені території, що ускладнить процес будівництва та експлуатації ВОЛЗ

На основі порівняння можна зробити висновок, що траса вздовж автомобільної дороги (1варіант) є найбільш прийнятною, оскільки вона найбільш зручна з точки зору будівництва та обслуговування. Обрана траса має загальну протяжність 269 км.

1.3 Правила проєктування ВОЛЗ

При проєктуванні ВОЛЗ (волоконно-оптичних ліній зв'язку) слід відразу відповісти на наступні питання:

1. Характеристики сигналу який необхідно транслювати через ВОЛЗ;
2. Відстань передачі сигналу по ВОЛЗ;
3. Траса прокладки волоконно-оптичного кабелю (в каналізації, відкрито і т.п.);
4. Чи прив'язка до конкретного типу активного обладнання;
5. Чи існуюча ВОЛЗ, яку необхідно наростити або розширити.

Отже, для проєктування ВОЛЗ кожне з питань носить істотний характер. Зупинимося на кожному питанні для проєктування ВОЛЗ.

Характеристики сигналу який необхідно транслювати через ВОЛЗ

1. Через ВОЛЗ можуть транслюватися такі типи сигналів:
 - передача відеосигналу;
 - передача аудіосигналу;
 - передача замикання «сухих контактів» (передача NC-NO);
 - передача протоколів RS-232/422/485 (чотирьохпровідних або двопровідних);
 - передача Ethernet 10/100 або 1000 (передача gigabit ethernet);
 - передача потоків E1, телефонії та інших.

2. Відстань передачі сигналу при проєктуванні ВОЛЗ

Для вибору характеристик оптоволоконна, кінцевих пристроїв і категорії активного обладнання необхідно розуміти на які відстані транслюватимуться ті, чи інші сигнали по ВОЛЗ.

3. Траса прокладки волоконно-оптичного кабелю при проєктуванні ВОЛЗ

Траса прокладки кабелів ВОЛЗ впливає переважно на вибір характеристик волоконно-оптичного кабелю:

- а) Волоконно-оптичні кабелі для магістральних мереж:
 - для прокладки в кабельній каналізації, блоках, трубах, колекторах;
 - для прокладання в ґрунті всіх груп;
 - підвісні кабелі;
 - комбіновані кабелі;
 - кабелі в «сухому» виконанні.
- б) Волоконно-оптичні кабелі зв'язку для локальних мереж:

- кабелі для оптичних шнурів;
- розподільні оптичні кабелі.

4. Прив'язка до конкретного типу активного обладнання при проектуванні ВОЛЗ

Активне обладнання різних виробників для передачі одних і тих же видів сигналів може відрізнятися по різних характеристиках:

- дальність передачі того чи іншого сигналу по ВОЛЗ;
- максимальне загасання сигналу яке може сприймати активне обладнання ВОЛЗ;
- коефіцієнт підсилення сигналу активним обладнанням ВОЛЗ;
- температурний діапазон роботи активного обладнання ВОЛЗ;
- допоміжні характеристики (споживана потужність, габарити, напруга живлення і т.д.)

5. Існуюча ВОЛЗ, яку необхідно наростити або розширити.

При проектуванні ВОЛЗ на базі існуючої важливо визначити чи призначені існуючі лінії зв'язку для виконання завдань поставлених при новому проектуванні:

- чи можливо розширення мережі ВОЛЗ без зміни принципів рішень;
- чи необхідно використання конвертерів з багатомодових ліній в одномодове (і навпаки);
- чи можуть існувати дві мережі ВОЛЗ (існуюча і проектована) окремо з однією лише зв'язком, або необхідно їх щільне переплетення.

Комплексно відповівши на всі ці питання можна приступати до проектування ВОЛЗ.

1.4.Розробка транспортної мережі

Трафік мережі це число каналів , що зв'язують пункти . Число каналів залежить від чисельності населення. При проектуванні мережі потрібно враховувати такі фактори як численність населення в містах ,а також зріст трафіка.

У перспективі кількість абонентів , що обслуговується тією чи іншою станцією АМТЗ , визначається в залежності від чисельності населення , що проживає в зоні обслуговування . прийнявши коефіцієнт оснащення населення телефонними апаратами рівним 0,3 , кількість абонентів можна визначити по

формулі :

$$m=0,3 \cdot Ht \quad (1.1)$$

Де Ht – кількість абонентів в зоні обслуговування

Характеристика чисельності населення з урахуванням середнього приросту чоловік та чисельність абонентів в зоні АМТЗ представлені у таблиці 1.3

Таблиця 1.3 – Характеристика чисельності населення з урахуванням середнього приросту чоловік та чисельність абонентів в зоні АМТЗ

Міста	Чисельність населення з урахуванням середнього приросту чоловік	Чисельність абонентів в зоні АМТЗ
Львів	721301	304454,7
Ужгород	112447	26310

Для розрахунку телефонних каналів використовується наближена формула:

$$n_{\text{ТК}} = \alpha_1 \cdot f_1 \cdot \gamma \cdot \frac{m_a + m_b}{m_a + m_b} + \beta \text{ тис. аб,} \quad (1.2)$$

де α_1, β – постійні коефіцієнти на відповідають фіксованій доступності заданої затратами $\alpha_1 - 1,3; \beta - 5,6$.

γ – питома навантаження, тобто середні навантаження одним абонентом 0,05 Ерл.

m_a, m_b – кількість абонентів що обслуговується кінцевою станцією відповідно до пунктів.

$$n_{\text{ТК}} = 1,3 \cdot 0,1 \cdot 0,05 \cdot ((304454,7 \cdot 26310) / (304454,7 + 26310)) + 5,6 = 163$$

В зв'язку с тим , що абоненти користуються такими послугами як ІР телебачення , передача даних (Інтернет) кількість каналів розраховується за наступної формулою ;

$$n_{ab} = n_{\text{ТФ}} + n_{\text{ТГ}} + n_{\text{ТБ}} + n_{\text{ПМ}} + n_{\text{ПД}} + n_{\text{ТК}} \quad (1.3)$$

де $n_{\text{ТФ}}$ – кількість дуплексних каналів телефонного зв'язку ;

$n_{\text{ТГ}}$ – кількість каналів для телеграфного зв'язку ;

$n_{тб}$ – кількість каналів для передачі телебачення ;

$n_{пм}$ – кількість каналів передачі провідного мовлення ;

$n_{пд}$ – канали для передачі даних(Інтернет) ;

$n_{тк}$ – транзитні канали.

Оскільки кількість каналів різного призначення невідомо , потрібно приблизно збільшити кількість телефонних каналів у чотири рази.

$$n_{ab} = n_{тф} \cdot 4 \quad (1.4)$$

$$n_{ab} = 163 \cdot 4 = 652$$

Кількість ПЦП розраховуємо за формулою ;

$$N_{пцп} = \frac{n_{ab}}{30} \quad (1.5)$$

$$N_{пцп} = 652/30 = 22 \text{ ПЦП}$$

де 30– кількість каналів тональної частоти з яких складається ПЦП.

2 ТЕХНОЛОГІЯ CWDM

2.1 Основи CWDM

Технологія CWDM довела свою ефективність на вирішення завдань ущільнення оптичних несучих – WDM (Wavelength Division Multiplexing) . Суть цієї технології полягає в тому, що потоки даних, які передаються по окремих оптичних лініях, за допомогою CWDM пристроїв (CWDM мультиплексорів) з'єднується в єдиний оптичний сигнал, що передається по оптоволокну. На стороні у відповідь виконується демультимплексування (зворотна операція).

Ключові переваги CWDM:

- до 16 окремих потоків даних по двох парах волокон;
- низька ціна у порівнянні з DWDM;
- декілька варіантів топології мережі;
- велика дальність передачі;
- централізоване керування мережею.

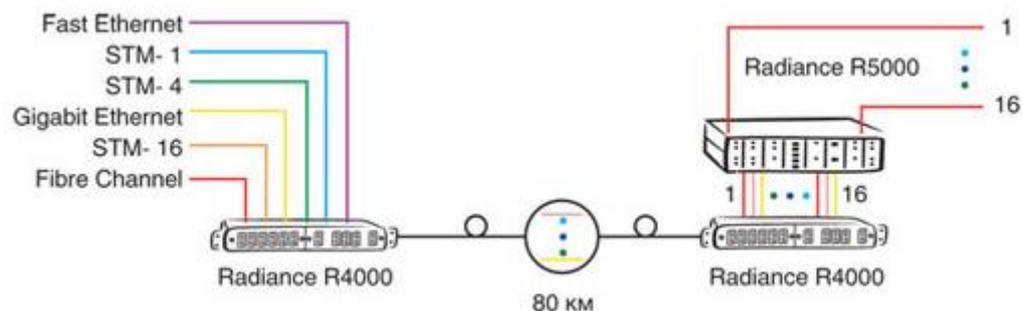


Рисунок 2.1 Структура CWDM

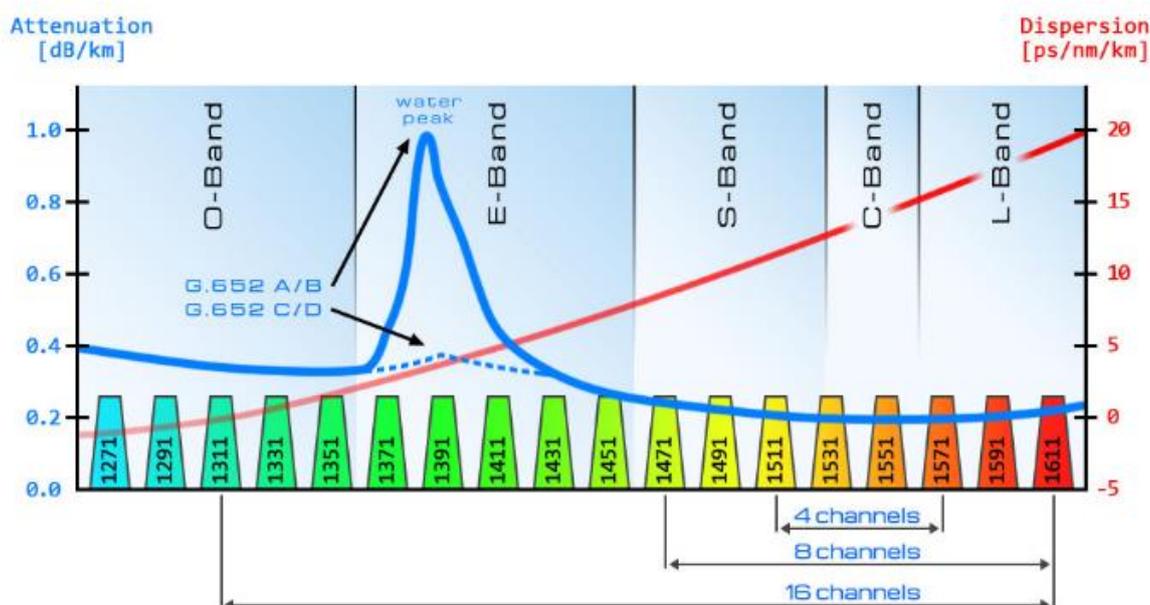
Грубе спектральне мультиплексування – CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) – це спосіб передачі різномірних незалежних потоків даних по одній парі оптичних волокон. У технології CWDM потоки даних, що передаються, рознесені по частоті на 20 нм. Діапазон робочих частот технології CWDM лежить у діапазоні від 1310 до 1610 нм за рекомендацією G-694.2 Міжнародного телекомунікаційного союзу (ITU). Для збільшення числа каналів до 18 можливе розширення цього діапазону до 1270 нм, однак у цьому випадку виникають дві проблеми. Перша пов'язана зі збільшенням втрат на

випромінювання під час роботи більш коротких хвилях майже вдвічі, що призводить до скорочення максимальної відстані передачі. По-друге, у цьому випадку доводиться використовувати спеціальні оптичні волокна, що зводить нанівещь ряд переваг технології.

Технологія CWDM збільшує термін служби вже розгорнутих оптичних мереж, розширюючи спектр частот, що використовуються передачі даних. CWDM не прив'язана до протоколів передачі, завдяки чому різні телекомунікаційні послуги можуть бути надані в єдиному транспортному середовищі. Особливості ущільнення дозволяють істотно знизити його вартість порівняно з технологією DWDM, що в сукупності з гнучкістю та різними варіантами топології робить цю технологію оптимальною для вирішення різних завдань.

Спектральні канали в CWDM «упаковані» більш щільно, ніж у WDM: всі 18 каналів знаходяться у спектральному діапазоні від 1270 до 1610нм, який охоплює всі освоєні діапазони для передачі світлових сигналів водномодовому оптичному волокні (це – діапазони O, E, S, C та L).

Крок між центральними довжинами хвиль кожного каналу становить 20нм, при максимальній ширині кожного каналу ± 7.5 нм (у рекомендації ITU-T G.694.2 заявлене відхилення від центральної довжини хвилі знаходиться в діапазоні $\pm 6...7$ нм).



Рисунко 2.2 – Робочий діапазон CWDM

Варто зазначити, що кожен спектральний канал CWDM має свою унікальну характеристику, що складається з показника згасання на кілометр волокна (він же

– погасне згасання, синя лінія на малюнку) та показника хроматичної дисперсії (червона лінія на малюнку).

Старі одномодові волокна (G.652 A та G.652B) не прозорі для світлового випромінювання в діапазоні E (так званий "водний пік"), тому для залучення всіх каналів CWDM системи необхідно використовувати сучасні одномодові оптичні волокна (G.652 C або G. 652D). У таких волокон вплив «водного піку» зведено до мінімуму (синій пунктир на рисунку 2.2).

Однією з основних особливостей CWDM систем ущільнення є можливість «парувати» будь-які з 18 довжин хвиль між собою, утворюючи прямий та зворотний канали одного дуплексного каналу зв'язку. Головне щоб випромінювання на конкретній довжині хвилі надходило у волокно тільки від одного джерела (щоб уникнути колізій).

Відповідно, в одному хвилеводі можна «спарувати» максимум 9 дуплексних каналів зв'язку, причому абсолютно не важливо, з якою швидкістю і в якому форматі передаються дані в кожному окремому «дуплексі».

Крім того, CWDM системи можна безболісно інтегрувати в інші (що вже працюють) системи ущільнення (наприклад, WDM або DWDM), нарощуючи ємність та підвищуючи ефективність конкретного оптичного волокна.

2.2 Мультиплексор, внутрішня будова та принцип роботи

Оптичний мультиплексор – пристрій, що об'єднує оптичні канали груповий оптичний сигнал або розділяє груповий оптичний сигнал на спектральні складові (останнє пристрій називається демультиплексор). Іноді (останнім часом все частіше) оптичний мультиплексор виконує відразу обидві функції.

У середині звичайного мультиплексора CWDM знаходиться масив зварених між собою CWDM фільтрів на різні довжини хвиль. Фільтри зварені за принципом "транзитний вихід першого є входом для другого" (іншими словами, "хвістом" COM до "хвоста" REF).

Всі пігтейли PASS виведені з корпусу мультиплексора і безпосередньо підключаються до трансіверів (зазвичай ці висновки додатково «упаковують» у вторинний буфер захисний діаметром 2мм або 3мм).

Перший пігтейл COM (який, до речі, теж упакований у вторинний захисний буфер) підключається до лінії зв'язку.

Останній пігтейл REF або захований у середині корпусу, або може бути

виведений з нього для каскадування мультиплексорів (знову ж таки, в буфері).

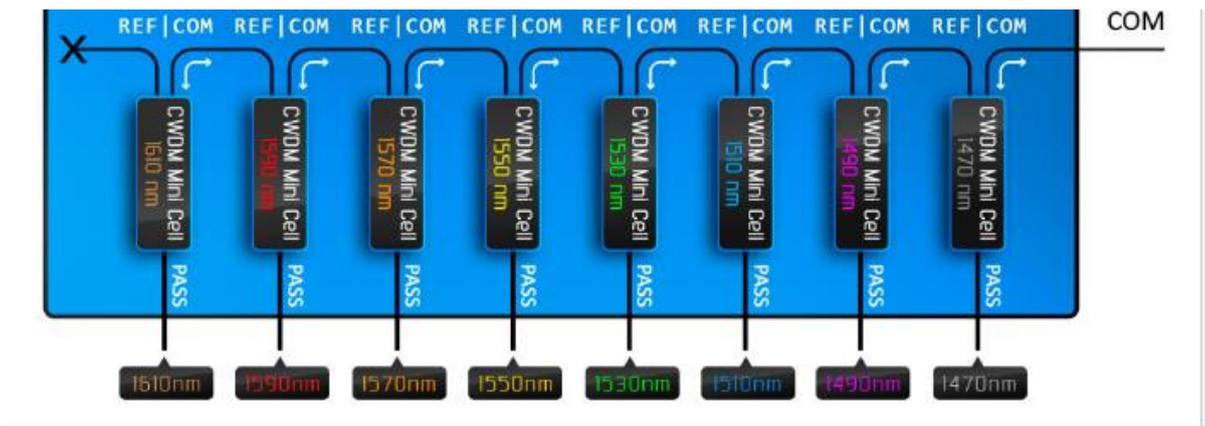


Рисунок 2.3 – Внутрішнє побудова стандартного мультиплексора на основі CWDM фільтрів

Проте, не варто забувати про втрати потужності на кожному фільтрі в каскаді. Коли груповий сигнал входить в мультиплексор, то перший відфільтрований оптичний канал втрачає 0,3дБ потужності, другий, - 0,6дБ, третій, - 0,9дБ і так далі. У стандартного мультиплексора на 8 довжин хвиль (1x8) загасання на останньому фільтрі приблизно рівне 2,4дБ, що вже не мало, а у такого ж мультиплексора на 16 довжин хвиль (1x16) втрати на останньому каналі складуть біля 5дБ!

А тепер уявіть, що такі мультиплексори встановлені з двох сторін лінії зв'язку - втрати виходять страхотливо високими! Тому для багатоканальних мультиплексорів існують дещо інші способи внутрішнього компонування.

Якраз для багатоканальних мультиплексорів і були розроблені широкосмугові FWDM фільтри, про які згадувалося раніше.

Такі фільтри встановлюються на вході в мультиплексор і формують не один внутрішній каскад CWDM фільтрів, а відразу два, значно зменшуючи сумарні втрати на крайніх каналах кожного каскаду.

Для компенсації паразитних втрат на каскаді CWDM фільтрів мультиплексори зазвичай випускають «у парах». Відрізняються парні мультиплексори один від одного послідовністю зварювання фільтрів усередині.

Як було зазначено раніше, при роботі CWDM системи в одному волокні кожен з мультиплексорів займається мультиплексуванням частини каналів і демultipлексуванням каналів, що залишилися одночасно.

Працює така пара мультиплексорів за принципом «якщо з одного боку довжина хвилі входить у волокно, отже, з іншого вона обов'язково має вийти в приймач трансівера».

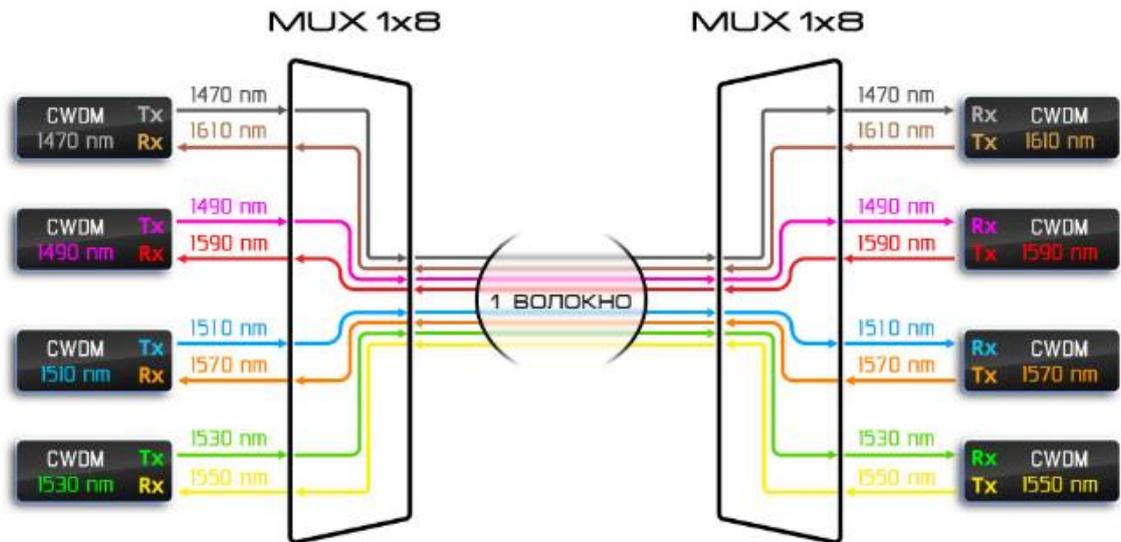


Рисунок 2.4 – Робота системи CWDM по одному волокну

Незважаючи на цілий ряд переваг, CWDM системи ущільнення мають і ряд недоліків, властивих недорогим системам оптичного зв'язку, а саме:

1) Обмежений радіус дії.

Як і в простих системах оптичного зв'язку, оптичний сигнал CWDM діапазону неможливо посилити, а значить, дальність дії, як і раніше, обмежена оптичним бюджетом приймачів.

Ця дальність дорівнює 150км для гігабітних лінків і 80км для десятигігабітних лінків.

Крім того, на 10G канали зв'язку починає впливати хроматична дисперсія, що обмежує дальність дії;

2) Додатковий бюджет втрат з допомогою пасивної апаратури ущільнення, що вносить свої згасання.

На жаль, мультиплексори, OADM та CWDM фільтри – це необхідне зло, з яким необхідно миритися.

3) Неможливість оптичної регенерації групового CWDM сигналу та його спектральних складових.

CWDM діапазон досить широкий, а сучасні оптичні підсилювачі-регенератори на основі ербію не здатні впоратися з таким широким діапазоном.

Виходом із ситуації може стати 3R регенерація - відновлення оптичної потужності, форми сигналу, синхронізація сигналу за часом і корекція помилок. 3R регенерацію можна здійснити за допомогою таких дій:

- прийняти ослаблений оптичний сигнал;
- перевести оптичний сигнал у електричну форму;
- перевести сигнал з електричної форми назад до оптичної та видати його в лінію.

Для цих цілей необхідний як мінімум свитч, набір приймачів та мультиплексори, що робить 3R регенерацію, особливо на швидкості 10Гбіт/с, досить дорогим задоволенням.

2.3 STM 1

Виходячи з формули розрахунку кількості ПЦП маємо, що ПЦП= 22, тому STM може бути вибраним STM – 1, оскільки $22 < 63$.

Первинним цифровим потоком SDH є модуль STM-1, що має швидкість передачі 155,52 Мбіт / с. Період повторення STM-1 складає 125 мкс, що відповідає частоті повторення 8000 Гц. Кожен байт відповідає каналу зі швидкістю передачі 64 кбіт / с.

Корисним навантаженням для SDH є групові цифрові потоки освічені будь-яким шаблоном PDH від E1 (2,048 Мбіт / с) до E4 (139,264 Мбіт / с). Для синхронізації всіх вхідних потоків у структурі технології SDH періодично на певних позиціях у кадрі розміщується службова інформація (секційний заголовок – SOH (Section Overhead), який використовується для контролю і управління мережею SDH, а так само для організації розміщення корисного навантаження) і байти фіксованою вставкою. Тому цифровий потік первинного синхронного транспортного модуля -

STM-1 можна умовно розділити на 9 інтервалів по 270 байт у кожному (рис. 1.1). Перші 9 байт кожного інтервалу несуть сигнали управління та контролю, а в що залишилися 261 байт розміщується відповідним чином корисне навантаження.

Модуль STM-1 складається з 2430 байт і звичайно для більш простого і наочного розуміння при зображенні STM-1 використовують двомірний масив розміром 9 рядків по 270 байт. Байти STM-1 передаються, починаючи з лівого верхнього кута зліва направо, зверху вниз.

Так як кількість абонентів щороку збільшується майже в двічі то пропускну здатність на транспортній мережі потрібно збільшити за допомогою устаткування STM 16.

2.4 STM 16

Синхронний транспортний модуль STM-16 формується додаванням до корисного навантаження, отриманої після мультиплексування потоків 16 АВГ-4, службових байт, званих секційним заголовком (SOH). Секційний заголовок містить інформацію, що відноситься до лінійного синхросигналу і до послуг.

Секційний заголовок (SOH) ділиться на дві частини:

RSOH – заголовок регенераційної секції, що складається з 432 байтів;

MSON – заголовок мультиплексованої секції, що складається з 576 байтів;

У RSOH розташовуються наступні байти заголовка:

A1 – байт лінійного синхросигналу: 11110110;

A2 – байт лінійного синхросигналу: 00101000;

Кожен STM-1 в ущільненому сигналі STM-N включає цей сигнал синхронізації. У STM-16 таких байтів синхронізації міститься $16 \times 6 = 96$.

B1 – байт контрольної суми, підрахованої по всьому попередньому кадру STM-16;

D1, D2, D3 - байти, використовувані як канали передачі даних для передачі керуючої інформації між регенераторами зі швидкістю $643 = 192$ кбіт / с. Цей канал організується тільки в першому STM-1 у складі STM-16;

E1 – байт для організації мовного службового каналу;

F1 – байт для організації каналу управління;

J0 – байт ідентифікатора ID модуля STM. Чисельне значення присвоюється кожному модулю STM-1 перед подальшим ущільненням в STM-N. Це число використовується для визначення і перевірки положення окремого STM-1 в STM-N в процесі розуплотнення. Значення ID записується в байт C1 заголовка кожного STM-1;

Z0 – запасні байти. Ці байти резервуються для майбутньої міжнародної стандартизації. У більш ранніх версіях рекомендацій МСЕ-Т (Міжнародного союзу електрозв'язку, сектор телекомунікацій) і в обладнанні, яке було виконано відповідно до них, цей байт був визначений як ідентифікатор, що включає в двійковому вигляді номер STM-1 в STM-N ($N > 1$).

* – Резервний байт для майбутніх стандартів;

X – байт для національного використання;

У MSON розташовані наступні байти заголовка:

B2 – байти контрольної суми, підрахованої за попереднього кадру STM-16 за винятком байтів, що відносяться до SOH;

D4-D12 – байти для організації каналів передачі даних для передачі керуючої інформації між мультиплексорами зі швидкістю 649 кбіт / с. Цей канал організується тільки в першому STM-1 у складі STM-16;

E2 – байт для організації мовного службового каналу;

K1, K2 – канали передачі даних для автоматичного обміну;

Z1, Z2 – канали передачі даних для майбутніх застосувань;

*–Резервні байти для майбутніх стандартів;

X – байти для національного використання.

У системах передачі SDH існують різні заголовки:

– секційні (розділ накладні витрати), що складаються з регенераційних (RSOH) і мультиплексних (MSOH) заголовків;

– тема маршруту високого рівня (високого порядку POH - HO-POH), використовуваний для контейнерів VC-4/VC-3.

– тема маршруту низького рівня (Low-порядку POH - LO-POH), використовуваний для контейнерів VC-2/VC-1.

Тема маршруту POH виконує функції контролю параметрів якості передачі контейнера. Він супроводжує контейнер за маршрутом прямування від точки формування до точки розформування. Структура і розмір заголовка POH визначаються типом відповідного контейнера.

Заголовки використовуються для:

– кадрової (циклової) ідентифікації кадру STM-1;

– моніторингу помилки через генерування кодів паритету. Для того, щоб здійснювати моніторинг сигналу STM-N здійснюється процедура "паритету вставлених бітів" (БП);

– місцезнаходження помилок на тракті, секції мультиплексування та секції регенерації;

– організації ліній службового зв'язку і ліній передачі даних;

– передачі інформації між TMN (передача керування мережею) - мережею управління і різними елементами мережі.

3 ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОВ

Вибір параметрів оптичного кабелю. Вихідні дані: діаметр серцевини світловоду $2a = 50$ мкм, показник заломлення $n_1=1,49$, $n_2=1,46$; довжина хвилі $\lambda=1,3$ мкм;

Співвідношення коефіцієнтів заломлення:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1,49 - 1,46}{1,49} = 0,02 \quad (3.1)$$

Числова апертура:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1,49^2 - 1,46^2} = 0,3 \quad (3.2)$$

Нормована частота:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 25 \cdot 10^{-6}}{1,3 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,3 = 36 \quad (3.3)$$

Число хвиль, що поширюються по світловоду визначаємо за формулою:

$$N = \frac{V^2}{2} = \frac{36^2}{2} = 648, \text{ отже має місце багатомодова передача.}$$

Критична частота для хвилі HE_{21} ($P_{nm} = 2,405$):

$$f_0 = \frac{P_{nm} \cdot c}{\pi d \cdot \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}, \quad (3.4)$$

де P_{nm} – параметр, що характеризує тип хвилі, c – швидкість світла, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с

$$f_0 = \frac{2,405 \cdot 3 \cdot 10^8}{3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-6} \cdot \sqrt{1,49^2 - 1,46^2}} = 15,3 \cdot 10^{12} \text{ Гц}$$

Критична довжина хвилі:

$$\lambda_0 = \frac{\pi d}{P_{nm} n_1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 10^{-6}}{2,405 \cdot 1,53} \sqrt{1,49^2 - 1,46^2} = 12,9 \text{ мкм} \quad (3.5)$$

Передача світловодом хвилі довжиною 1,3мкм є можливою, тому що виконується умова $\lambda_0 > \lambda$.

Волоконні світловоди характеризуються двома важливими параметрами: загасанням і дисперсією.

Загасання визначає довжину регенераційних ділянок (відстані між регенераторами). Дисперсія призводить до спотворення імпульсів і обмеження смуги передачі по світловоду.

Коефіцієнт загасання світловодних трактів оптичних кабелів α обумовлений власними втратами у волоконних світловодах $\alpha_{\text{в}}$ і додатковими втратами, що називаються кабельними $\alpha_{\text{к}}$ і викликані деформацією та згинами світловодів при накладені покриттів та захисних оболонок в процесі виготовлення оптичного кабелю : $\alpha = \alpha_{\text{в}} + \alpha_{\text{к}}$. Власні втрати волоконних світловодів складаються, в першу чергу, з втрат на поглинання $\alpha_{\text{п}}$ і втрат на розсіювання $\alpha_{\text{р}}$. Втрати на поглинання суттєво залежать від чистоти матеріалу і за наявності сторонніх домішок можуть досягати значних величин: $\alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{д}}$. Втрати на розсіювання обмежують границі мінімально допустимих значень втрат у волоконних світловодах. В результаті:

$$\alpha_{\text{в}} = \alpha_{\text{п}} + \alpha_{\text{д}} + \alpha_{\text{р}}, \quad (3.6)$$

де $\alpha_{\text{п}}$ – загасання світловоду за рахунок втрат при поглинанні дБ/км;

$\alpha_{\text{д}}$ – втрати у світловоді за рахунок сторонніх домішок, ці втрати не перевищують 0,1 дБ/км;

$\alpha_{\text{р}}$ – втрати у світловоді зумовлені неоднорідністю матеріалу світловоду, залежать від матеріалу та робочої довжини хвилі дБ/км;;

Втрати енергії при поглинанні визначається за формулою (3.8):

$$\alpha_{\text{п}} = \pi n \operatorname{tg} \frac{\delta}{\lambda}, \quad (3.7)$$

де $n = \sqrt{\mu\epsilon}$ – показник заломлення ; λ – довжина хвилі нм; $\operatorname{tg} \delta$ – тангенс кута діелектричних втрат у світловоді. З формули (3.8) видно, що частотна залежність загасання поглинання має лінійний характер.

$$\alpha_{\text{п}} = \frac{3,14}{1,3 \cdot 10^{-6}} \cdot 10^{-10} \cdot 1,49 = 3,57 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Нп}}{\text{м}} = 3,1 \frac{\text{дБ}}{\text{км}}.,$$

Втрати на розсіювання визначаємо за формулою (3.8):

$$\alpha_p = K_p \lambda^{-4}, \quad (3.8)$$

де $K_p = 1,5 \text{ мкм}^4$ (для кварцу); λ – довжина хвилі в мкм. Це розсіювання являється релєєвським. Воно зростає з частотою по закону f^4 .

Втрати на релєєвське розсіювання визначають нижню межу втрат, що властиві волоконним світловодам. Ця межа різна для різних хвиль і з зростанням довжини хвилі зменшується.

$$\alpha_p = \frac{1,5 \text{ мкм}^4}{1,3 \text{ мкм}^4} = 0,52 \text{ дБ / км.}$$

Загальні втрати :

$$\alpha = 3,2 + 0,52 = 3,72 \text{ дБ / км.}$$

Пропускна здатність оптичного кабелю суттєво залежить від типу і властивостей волоконних світловодів (одномодові, багатомодові, градієнтні), а також від типу випромінювача (лазер, світлодіод). Дисперсія виникає по двом причинам: некогерентність джерел випромінювання $\Delta\lambda$ та існування великого число мод N.

Некогерентність випромінювача призводить до появи спектру $\Delta\lambda$ їх хроматичної дисперсії. Хроматична дисперсія ділиться на матеріальну і хвильову (внутрішньомодову). Величина збільшення величини імпульсу за рахунок модової дисперсії, що характеризується часом наростання сигналу і визначається як різниця між самим довшим і самим коротшим часом надходження променів в перерізі світловода на відстані l від початку, розраховується за формулами:

$$\tau = \frac{n_1 \cdot \Delta l}{c} = \frac{(NA)^2}{2 \cdot n_1 \cdot c} l \quad \text{– для східчастих світловодів,} \quad (3.9)$$

$$\tau = \frac{n_1 \cdot \Delta^2 \cdot l}{2 \cdot c} = \frac{(NA)^4}{8 \cdot n_1^3 \cdot c} l \quad \text{– для градієнтних світловодів,} \quad (3.10)$$

де NA – числова апертура, $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$, $\Delta = (n_1 - n_2) / n_1$; n_1 - показник заломлення сердечника; n_2 – показники заломлення оболонки; l – довжина світло-вода; c – швидкість світла км/с.

Дисперсія для східчастого світловода довжиною 10 км :

$$\tau = \frac{1,49 \cdot 0,03 \cdot 10}{3 \cdot 10^5} = 1490 \text{ нс;}$$

для градієнтних довжиною 10 км:

$$\tau = \frac{1,46 \cdot (0,03)^2 \cdot 10}{2 \cdot 3 \cdot 10^5} = 22 \text{ нс},$$

Дисперсія градієнтного світловода суттєво менша ступінчастого.

Смуга пропускання для градієнтного світловоду визначається за формулою (3.12):

$$\Delta F = 1/\tau \quad (3.11)$$

$$\Delta F = 1/\tau = 1/22 = 45,4 \text{ (ГГц)}.$$

Для вирішення питань проектування ВОЛЗ нам необхідно знати параметри, що визначають енергетичні показники систем передачі. Майже всі оптичні лінійні модулі різних цифрових та оптичних систем передачі незалежно від їх виробника мають стандартизовані показники, як наводяться в таблиці (3.1)

Таблиця 3.1 – Параметри, специфіковані для оптичних інтерфейсів

Назва параметру	Значення параметру	Одиниці вимірювання
Рівень середньої потужності випромінювання:		
– максимальний	+3	дБ
– мінімальний	-2	дБ
Мінімальний рівень чутливості	-27 ÷ -28	дБ
Рекомендований діапазон загасання в лінійному тракті	10 – 28 (STM1) -24 (STM16)	дБ

При виборі реального максимального загасання в оптичному лінійному тракті регенераційної ділянки ($A_{\text{макс}}$) рекомендується взяти різницю максимального рівня випромінювання ($P_{\text{макс випр}}$) і мінімального рівня чутливості ($P_{\text{мін чутл}}$) і відняти від отриманого значення - значення запасу ($A_{\text{зап}}$) на старіння ОВ, на можливість збільшення загасання ОВ за рахунок його ремонту (додаткові зварювання), та додаткові втрати (по довжині ОК) при прокладанні ОК. Величина запасу $A_{\text{зап}} = 6 - 10 \text{ дБ}$.

$$A_{\text{max}} = P_{\text{max випр}} - P_{\text{min чутл}} - A_{\text{зап}}, \text{ дБ}. \quad (3.12)$$

$$A_{\text{max}} = 3 - (-27) - 10 = 20 \text{ дБ}.$$

Основні параметри, що визначають можливість організації зв'язку - це згасання сигналу (вимірюється на робочих діапазонах передачі 1310 та 1550нм), та хроматична дисперсія. Однією з причин виникнення дисперсії є залежність показника заломлення від довжини хвилі (частоти). Як наслідок, хвилі з різною довжиною проходять різний оптичний шлях.

На основі даних параметрів оптичних волокон з різними довжинами хвиль, що показані в таблиці 3, можна зробити висновок: загасання оптичного сигналу на довжині хвилі 1310 нм є більше ніж для хвилі з довжиною 1550 нм, але дисперсія на довжині 1310 нм набагато менша, а на певній довжині хвилі цього діапазону взагалі може дорівнювати 0. Тому, щоб отримати в діапазоні 1550 нм меншу дисперсію, ОВ виготовляють по певній технології, результатом якої мінімум дисперсії зсувається у бік, наближеному до частоти (довжини хвилі) робочого діапазону.

Таблиця 3.2 – Основні параметри оптичних волокон

Назва параметру для волокна стандарту G655 типу NZDSF	Одиниці вимірювання	Значення параметру
Загасання кілометричне на довжині хвилі 1310	дБ/км	0.35 0.4 0.5
Загасання кілометричне на довжині хвилі 1550	дБ/км	0.2 – 0.25
Хроматична дисперсія на довжині хвилі 1310	пс/(нм · км)	- 9
Хроматична дисперсія на довжині хвилі 1550	пс/(нм · км)	0.8 – 4.6

4 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАЧІ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА

4.1 Визначення втрати ОВ

Коефіцієнт загасання λ обумовлена власними і додатковими втратами виникають в процесі виробництва ОВ, збірки і прокладки ОК

$$\lambda = \lambda_{\text{в}} + \lambda_{\text{д}} \quad (4.1)$$

Власні втрати, у свою чергу, складаються з наступних складових:

- втрат на релеевське розсівання $\lambda_{\text{рв}}$;
- втрат у матеріалі (на поляризацію матеріалу) $\lambda_{\text{пм}}$;
- втрата за рахунок поглинання в інфрачервоних області $\lambda_{\text{іо}}$;
- втрати на іонах ОН $\lambda_{\text{он}}$.

$$\lambda_{\text{в}} = \lambda_{\text{рв}} + \lambda_{\text{пм}} + \lambda_{\text{іо}} + \lambda_{\text{он}} \quad (4.2)$$

Релеевські втрати визначаються за формулою:

$$\lambda_{\text{рв}} = \frac{6,3 \cdot 10^{11}}{\lambda_{\text{р}}^4} (1 + 250\Delta) \quad (4.3)$$

$$\lambda_{\text{рв}} = \frac{6,3 \cdot 10^{11}}{1550^4} (1 + 215 \cdot 0,008) = 0,109 \text{ дб/км}$$

Втрати по поляризації матеріалу визначаються відношенням:

$$\lambda_{\text{пм}} = 2,55 \cdot 10^{-3} \cdot \iota \frac{4,63 \cdot 10^3}{\lambda_{\text{р}}} \quad (4.4)$$

$$\lambda_{\text{пм}} = 2,55 \cdot 10^{-3} \cdot \iota \frac{4,63 \cdot 10^3}{1550} = 0,05 \text{ дб/км}$$

Втрати в інфрачервоній області визначаються за формулою:

$$\lambda_{\text{іо}} = 7,81 \cdot 10^{11} \cdot \iota \frac{-4,85 \cdot 10^4}{\lambda_p} \quad (4.5)$$

$$\lambda_{\text{іо}} = 7,81 \cdot 10^{11} \cdot \iota \frac{-4,85 \cdot 10^4}{1550} = 0,02 \text{ Дб/км}$$

Втрати іонах ОН визначені і становлять на довжині хвилі 1550 нм 0,03 Дб/км

$$\lambda_{\text{в}} = 0,109 + 0,05 + 0,02 + 0,03 = 0,209 \text{ Дб/км}$$

Експериментально встановлений, що додаткові втрати в ОВ приблизно становлять третину від власних:

$$\lambda_{\text{д}} = \frac{\lambda_{\text{с}}}{3} = \frac{0,209}{3} = 0,07 \text{ Дб/км} \quad (4.6)$$

$$\lambda = 0,209 + 0,07 = 0,279 \text{ Дб/км}$$

4.2 Розрахунок дисперсії сигналу

Дана дисперсія викликана наявністю спектру частот у джерела випромінювання, характером діаграми спрямованості і його некогерентного. Хроматична дисперсія, у свою чергу, ділиться на матеріальну, хвилеводних і профільну (для реальних волокон).

Матеріальна дисперсія, або дисперсія матеріалу, залежить (для прозорого матеріалу) від частоти (або довжини хвилі) і матеріалу ОВ, в якості якого, як правило, використовується кварцове скло. Дисперсія визначається електромагнітним взаємодією хвилі з пов'язаними електронами матеріалу середовища, яке носить, як правило, нелінійний (резонансний) характер і лише далеко від резонансів може бути описано з прийнятною точністю, наприклад, рівнянням Селлмейера.

Даний вид дисперсії проявляється в реальних оптичних волокнах, які можуть бути регулярними (наприклад, з регулярною, спіральною структурою), нерегулярними (наприклад, нерегулярне зміну кордону розділу ППП), неоднорідними (наприклад, наявність сторонніх часток).

4.3 Розрахунок довжини регенераційної ділянки

Довжина ОК, на якій можна передавати промодульований оптичний сигнал, обмежена загасанням. Загасання характерно як для аналогових, так і для цифрових сигналів. Існує кінцеве значення для відстані, яке може пройти сигнал без підсилення або відновлення. Загасання зростає із збільшенням частоти сигналу і подовженням кабелю передавальної середовища. Тип кабелю в даному випадку також має значення. Наприклад, якщо частота сигналу залишається незмінною, в відгалужувальних кабелі (drop cable) з діаметром перетину 22 загасання буде меншим, ніж у відгалужувальних кабелі тієї ж довжини з діаметром перетину 26. Чим менше діаметр перетину кабелю, тим надійніше кабель.

Загасання – це величина, що характеризує втрати амплітуди, вимірюється в децибелах (дБ). Величина втрат сигналу виражається отрицательними значеннями, відповідно, значенню -2 дБ відповідає більш сильний сигнал, ніж значенню -4 дБ. Для кожних 6 децибел величина сигналу зменшується в два рази. Іншими словами, сигнал загасанням -8 дБ в два рази менше, ніж сигнал з загасанням в -2 дБ. Про це важливо пам'ятати при порівнянні характеристик різних відгалужувальних кабелів.

Якщо загасання не контролювати, рівень сигналу понизиться так, що приймаюча сторона не зможе обробити передану інформацію. Чим вище частота потоку сигналу, тим сильніше він схильний загасання. Із збільшенням частоти рівень сигналу швидше знижується в контрольних точках у напрямку до пункту призначення. Саме з цієї причини приймачів високошвидкісного обладнання значно складніше розпізнати вихідний сигнал. Ще один аспект, який відрізняє аналогові сигнали від цифрових - спосіб корекції загасання.

Цифрові сигнали складаються з дискретних значень, тому їх легко виявити і регенерувати. Цифровий повторювач повністю регенерує сигнал, дозволяючи збільшити відстань, на які можуть бути передані дані. Після того як ослаблений сигнал надходить у повторювач, він відновлюється і передається далі, маючи рівень вихідного сигналу.

Аналогові сигнали регенеруються. Потоки аналогових сигналів повинні посилюватися через постійної зміни їх амплітуди. Коли сигнал загасає, його амплітуда у фізичній передавальній середовищі повинна бути збільшена. У цьому і полягає фундаментальна проблема цього методу підсилення.

Визначаємо максимальну довжину РД за формулою:

$$L_{max} = \frac{EP - P_3 - 2\lambda_p + \lambda_{\text{ВВ}} - 2\lambda_p}{\lambda + \frac{\lambda_{\text{ВВ}}}{l_{\text{сд}}}} \quad (4.8)$$

де EP – енергетичний потенціал апаратури;

P_3 – запас на старіння;

λ_p – загасання на роз'ємну;

$\lambda_{\text{ВВ}}$ – загасання на стику волокно - волокно

$l_{\text{сд}}$ – будівельна довжина кабелю;

$$L_{max} = \frac{20,5 - 6 - 1 + 0,1 - 1}{0,279 + \frac{0,1}{3}} = 40,3 \text{ км}$$

Мінімальна довжина РД визначається за формулою:

$$L_{min} = \frac{EP - P_3 - P_{\lambda_{\text{рд}}} - 2\lambda_p + \lambda_{\text{ВВ}} - 2\lambda_p}{\lambda + \frac{\lambda_{\text{ВВ}}}{l_{\text{сд}}}} \quad (4.9)$$

Де $P_{\lambda_{\text{рд}}} = 10$ дБ – діапазон спрацьовування системи $\lambda_{\text{рд}}$

$$L_{min} = \frac{20,5 - 10 - 6 - 1 + 0,1 - 1}{0,279 + \frac{0,1}{3}} = 37,1 \text{ км}$$

4.4 Розрахунок довжини рд по дисперсії

Крім загасання довжина РД обмежена також дисперсією. Якщо загасання впливає на рівень сигналу, то дисперсія впливає на частотно-тимчасові характеристики.

Довжина РУ по дисперсії розраховується за формулою:

$$l_{\text{рσ}} = \frac{0,25}{\sigma \cdot B} \quad (4.10)$$

Де σ – середньоквадратичне значення питомої дисперсії

$\Delta\lambda$ – ширина спектра излучения лазера (для апаратури уровня STM-16

$\Delta\lambda < 0,6 \text{ нм}$;

V – скорость передачи

$$V = 2500 \frac{\text{Мбит}}{\text{с}}$$

$$\sigma = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \quad (4.11)$$

$$\sigma = 18 \cdot 10^{-12} \cdot 0,6 = 10,8 \cdot 10^{-12} \frac{\text{с}}{\text{км}}$$

$$l_{p\sigma} = \frac{0,25}{10,8 \cdot 10^{-12} \cdot 2500 \cdot 10^6} = 9,25 \text{ км}$$

Прийmemo $l_{p\sigma} = 9 \text{ км}$. Така довжина РД менше мінімальної довжини по загасання, тому для нормальної роботи системи АРУ необхідно встановлювати атенюатор на вході НРП.

5 СХЕМА ОРГАНІЗАЦІЇ ЗВ'ЯЗКУ

5.1 Розміщення станцій на магістралі

При передачі цифрового сигналу по оптичному кабелю послаблення і дисперсійні спотворення оптичних імпульсів залежать від довжини лінії передачі і типу оптичного волокна. Довжина ділянки регенерації (відстань між сусідніми проміжними станціями) обмежена або допустимим згасанням сигналу в тракці або допустимим розширенням (дисперсією) оптичних імпульсів в часі.

При проектуванні волоконно-оптичних систем передачі в загальному випадку необхідно виконати два розрахунки довжини регенераційної ділянки (L_{p1} , L_{p2}) і вибрати менше значення. Оптична потужність, що поступає на приймач випромінювання ПРОМ залежить від:

1. Потужності джерела випромінювання P_g .
2. Втрат потужності в роз'ємних з'єднаннях джерела випромінювання з волокном.
3. Втрат потужності в роз'ємних з'єднаннях волокна з приймачем випромінювання в загальному вигляді це загасання залежить від кількості послідовно з'єднаних ОВ і визначається по формулі:

$$a_3 = a_1 \cdot l_{\delta 1} + \dots + a_n \cdot l_{\delta n} \quad (5.1)$$

де, a_1 – коефіцієнт затухання ОВ;

$l_{\delta n}$ – будівельна довжина кабелю.;

Будівельну довжину кабелю беремо 8,6 км

Потужність джерела випромінювання повинна перекривати всі втрати, і її рівень в місці ділянки регенерації повинен бути більший ніж мінімально допустимий рівень потужності (чутливість) ПРОМ, $P_{0 \min}$ повинен перевищувати деяке значення P_3 , що називається експлуатаційним запасом. Цей запас необхідний через погіршення, деградації параметрів приймального оптичного модуля оптичного кабелю, РОМ, а також для ремонтно — відновлювальних робіт при пошкодженні оптичного кабелю. У відчужених системах $P_3 = 3\text{дБ}$. Якщо ця умова не виконується $P_3 < 6\text{дБ}$ то це означає що один з елементів (джерело, волокно, приймач) або їх комбінації повинні бути замінені на інші з кращими параметрами.

Втрати потужності в з'єднаннях джерело — волокно ($a_{дв}$) залежать від типів джерел випромінювання і оптичного волокна і в методі їх з'єднання і узгодження.

Втрати в з'єднаннях ОВ-ОВ ($a_{вв}$) залежать від методів їх з'єднання. Найбільш часто використовують нероз'ємне з'єднання, що виконується методом зварювання. При цьому виникають втрати зовнішні і внутрішні.

Внутрішні втрати появляються через різницю в діаметрах серцевин, числових апертур, профілів, показників заломлення.

Зовнішні втрати виникають внаслідок попереднього зміщення і нахилу торців і т.д.

Втрати в з'єднанні ОВ-приймач обумовлені втратами внаслідок відбиття від торця оптичного волокна і від поверхні приймача.

Таблиця 5.1 – Основні характеристики оптичних волокон

Тип ОВ	λ , мкм	λ , дБ/км	$Q_{вв}$, дБ	$Q_{бв}$, дБ	$Q_{вп}$, дБ
Багатомодові	0,85	3,5	2,0	2,0	2,0
	1,3	1,0	2,0	2,0	2,0
Одномодові	1,3	0,5	1,5	0,1	1,5
	1,55				

Якщо на ділянці регенерації всі будівельні довжини однакові і рівні $L_3=8,6$ км, то максимальна довжина ділянки регенерації по затуханню визначається по формулі:

$$L_{p1 \max} = (Q - P_3 - a_{дв} - a_{вп} + a_{вв}) / (a + (a_{вв} / l_3)) \quad (5.2)$$

Для ОСП і кабелю 03КГ-1 вихідні дані для розрахунку

$Q = 36$ дБ електричний потенціал;

$P_3 = 6$ дБ запас по потужності;

$a_{дв} = 2$ дБ втрати по межі джерело-волокно;

$a_{вв} = 0,2$ дБ втрати на межі волокно-волокно;

$a_{вп} = 2$ дБ втрати на межі волокно-приймач;

$$L_{p1 \max} = (36 - 6 - 2 - 2 + 0,2) / (1 + (0,2 / 8,6)) = 25,5(\text{км}).$$

Розрахуємо довжину ділянки регенерації по дисперсії

Визначаємо L_{p2} при критичній частоті по формулі:

$$L_{p2 \max} = w / a \quad (5.3)$$

де $w = Q - a_{\text{дв}} - a_{\text{ен}} = 36 - 2 - 2 = 32$ дБ,

$$L_{p2 \max} = 32 / 1 = 32(\text{км}).$$

Так, як $L_{p2} > L_{p1}$, то залишаємо меншу довжину регенераційної ділянки $L_{p1} = 25,5$ км.

Схема організації зв'язку показує тип необхідного обладнання в кожному МВВ та його кількість, наявність регенераторів на ділянці. На схемі (Рисунок 5.1) показуємо структурну схему мережі та відстань між населеними пунктами враховуючи запас кабелю (101% від довжини траси), а також МВП (Кросовий комутатор дозволяє здійснити внутрішню комутацію каналів доступу. Наявність входів / виходів, каналів доступу визначається конфігурацією мережі і може бути різною) МВВ (Мультиплексор вводу / виводу (SMA) може мати на вході той же набір трибів, що і термінальний мультиплексор. Він дозволяє вводити / виводити відповідні їм канали.

На відміну від термінального мультиплексора SMA дозволяє здійснювати наскрізну комутацію вхідних потоків в загальних напрямках, виконувати функції кросового комутатора для цифрових потоків на рівні VC-12, VC-3, VC-4, здійснювати виділення потоків) НРП (використовується для збільшення відстані між вузлами мережі шляхом регенерації сигналів корисне навантаження) та типи лінійних інтерфейсів.

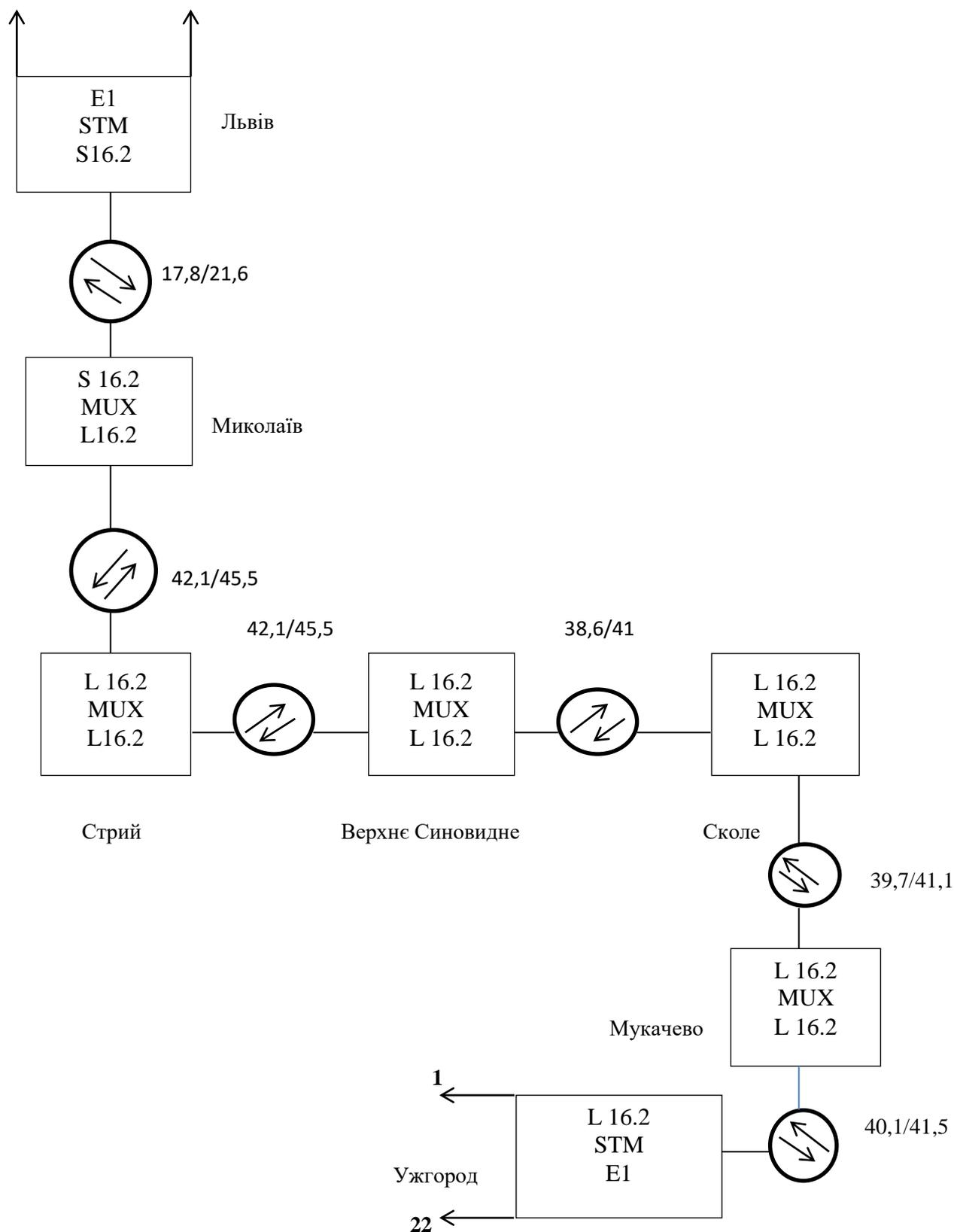


Рисунок 5.1 – Схема організації зв'язку

6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ОБГРУНТУВАННЯ

6.1 Розрахунок капітальних вкладень на будівництво ВОЛЗ

Техніко-економічні розрахунки представляють одну з важливих частин техніко-економічного обґрунтування проектування ВОЛЗ. В зв'язку з тим, що будівництво ВОЛЗ передбачає її використання в комерційних цілях, то змістом розрахунків являються:

- Визначення величини капітальних вкладень на будівництво проектованої лінії зв'язку;
- Розрахунок річних експлуатаційних витрат;
- Визначення терміну окупності капітальних вкладень.

Величина капітальних вкладень на будівництво кабельної лінії зв'язку складається з витрат на лінійні, станційні, цивільні та енергоспоруди.

Капітальні витрати на лінійні споруди зв'язку складаються з наступних витрат:

- вартість кабелю ОКЛ;
- вартість оптичних муфт;
- транспортні витрати на доставку кабелю до місця роботи;
- вартість монтажних робіт;
- контрольні вимірювання кабелю до і після прокладання оптичним рефлектометром;
- монтаж оптичних кросів;
- контрольні вимірювання змонтованої регенераційної ділянки;
- заготівельно-складські витрати;
- документація на побудовану ВОЛЗ.

Капітальні витрати на станційні споруди складаються з наступних статей:

- вартість прикінцевої та проміжної апаратури;
- вартість монтажу апаратури і налаштування каналів;
- транспортні витрати.

Об'єми капітальних витрат по станційним спорудам визначаються виходячи з того, що проектоване обладнання ВОЛЗ розміщується на існуючих площах АТС.

Усі витрати, пов'язані з будівництвом волоконно-оптичної лінії зв'язку зведені в (таб. 6.1.).

Таблиця 6.1 – Розрахунок витрат на лінійні споруди

Найменування статей витрат	Одиниці вимірювань	Кількість	Вартість одиниці тис.грн з ПДВ	Всього тис.грн
Вартість кабелю ОКЛ-ОМ-18	км	269	11,350	3053,15
Вартість оптичних муфт	шт	20	2,700	54,000
Вартість монтажу оптичних муфт	шт.	20	0,83	16,600
Контрольні вимірювання до та після монтажу оптичним рефлектором	ш/волокно	74	0,03	2,22
Вартість на прокладання кабелю в траншею	км	269	11,0	2959
Всього				6084,97
Транспортні витрати, 5%				304,25
Заготівельно - складські витрати, 1,2%				730,20
Резерв капітальних вкладень, 6%				365,10
Всього по кошторису, $K_{лс}$				7484,52

Таблиця 6.2 – Розрахунок витрат на станційні споруди

Найменування статей витрат	Кількість	Одиниці вимірювань	Вартість одиниці тис.грн з ПДВ	Всього тис.грн
Оптичний крос 19" ПР16, на 16 портів FC	4	шт	0,46	1,840
Вартість обладнання Huawei Optix OSN 1500B	2	комплект	174,7	349,400
Всього			349,400	
Пуско-налаштувальні роботи 10%			35,170	
Транспортні витрати 5%			17,580	
Резерв капітальних вкладень 6%			21,100	
Всього по кошторису, $K_{сс}$			425,550	

Таким чином, загальна сума капітальних вкладень на будівництво ВОЛЗ дорівнює сумі капітальних витрат на лінійні споруди і капітальних витрат на

станційні споруди:

$$K = 7484,52 + 425,550 = 7909,52 \text{ (грн.)}$$

6.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Витрати, що визначають собівартість продукції групуються у відповідності з їх економічним змістом по наступним елементам:

- витрати на оплату праці;
- відрахування у фонд соціального страхування і забезпечення;
- матеріальні витрати;
- витрати на оплату електроенергії;
- амортизаційні відрахування;
- інші витрати.

Річний фонд заробітної плати (ФЗП) обчислюється по величині місячного окладу працюючих помноженому на 12 (кількість місяців у році), плюс 35% премія, плюс 40% за роботу в нічний час, вихідні та святкові плюс 100%. Поряд з капітальними витратами, річні експлуатаційні витрати мають важливе значення при розрахунках економічної ефективності впровадження нової техніки. Посади відповідних працівників та фонд заробітної плати наведені в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Фонд заробітної плати

Посада	Інженер станційних споруд	Електромеханік станційних споруд	Разом (за рік)
Кількість людей	2 (по 1 чол. на ОРП)	10 (по 5 чол. На ОРП)	12
Оклад грн.	12750 (за місяць)	10750 (в місяць)	282000
Премія 35%	4462,5 (за місяць)	3762,5 (в місяць)	98700
Нічні зміни 40%	(нічних змін не мають)	1500 грн.(в місяць на працівника)	180000
Вихідні та святкові дні 100%	(вихідні дні змін не мають)	3,750 грн. за рік в одного працівника	37500
Всього грн. за рік			598200

З таблиці видно, що величина фонду заробітної плати за рік становить:
 ФЗП = 598,200 тис грн.

Відрахування органам соціального страхування здійснюється в розмірі 26 % від величини річного фонду заробітної плати і складає:

$$C = \Phi ЗП \times 0,26 = 155,532 \text{ тис. грн.}$$

Витрати на матеріали та запасні частини включають в себе витрати на утримання і поточний ремонт обладнання. Вони розраховуються на основі кількості обладнання і витрат на матеріали та запасні частини. Відрахування на матеріали і запасні частини становлять 3 % від вартості лінійних споруд, та 5 % від вартості обладнання.

$$E_{МЗ} = 0,03 \cdot 2213,730 + 0,05 \cdot 425,550 = 66,410 + 21,280 = 87,690 \text{ тис. грн}$$

Для оплати за електроенергію необхідно визначити потужність, що споживається апаратурою за формулою:

$$W = P \times 365 \text{ (днів)} \times t \text{ (годин)} / n,$$

де W – загальний об'єм електроенергії, що споживається і складається з електро-енергії яка споживається основним обладнанням і електроенергії яка витрачається на освітлення;

P – потужність, що споживається основним обладнанням і становить 3,3 кВт;

P – потужність, що споживається освітленням і рівна 0,4кВт;

n – ККД випрямлячів, рівне 0,7;

$$W = (3,3 + 0,4) \times 365 \times 24 / 0,7 = 46303 \text{ кВт.}$$

Тоді оплата за електроенергію становить:

$$E_{ел} = 46303 \times 0,3 = 13,891 \text{ тис. грн.}$$

Амортизаційні відрахування призначені для придбання або будівництва нових основних фондів, на заміну застарілих, для ремонту та модернізації основних фондів. Для кожного виду основних фондів встановлені відповідні норми амортизації і вказані в таблиці 6.4

Таблиця 6.4 – Амортизаційні відрахування

Найменування основних Фондів	Норма амортизаційних відрахувань, %	Річні амортизаційні відрахування, тис.грн
Станційні споруди	6,7%	21,510
Лінійні споруди	4%	88,550
Усього		110,060

Загальний об'єм експлуатаційних витрат буде становити 3862,150 грн.

6.3. Розрахунок доходів від основної діяльності

Сумарний дохід від діяльності буде складатися з доходу від плати за використання 2 потоків E1 виділених на телефонію, 2 потоків E1 виділених під канали операторів мобільного зв'язку, 6 потоків E1 виділених під цифрове телебачення, 6 потоків E1 виділених на послуги Ethernet, 4 потоків E1 виділених під послуги Internet а також від здачі 2 оптичних волокон в оренду іншим провайдерам зв'язку. Середні ціни за оренду потоків E1 візьмемо по стану на 2023 року, а результат розрахунків занесемо у таблицю 6.5.

Таблиця 6.5 – Дохід від здачі потоків

№ з/п	Види послуг	Кількість потоків	Вартість (тисяч грн.)	Вартість за рік (тисяч грн.)
1	E1 під телефонію	2	40,0 за 1 E1	80,000
2	E1 мобільним операторам	2	65,0 за 1 E1	130,000
3	E1 цифрове телебачення	6	15,0 за 1E1	90,000
4	E1 під послуги Ethernet	6	18,0 за 1 E1	128,000
5	E1 під послуги Internet	4	20,0 за 1 E1	80,000
6	оптичні волокна іншим провайдерам зв'язку	2	45,0 для одного провайдера	90,000
Усього				598,000

Сумарний річний дохід K_d проектованої ВОЛЗ складає:

$$K_d = 80,0 + 130,0 + 60,0 + 108,0 + 80,0 + 90,0 = 598,00 \text{ тис. грн.}$$

6.4 Розрахунок терміну окупності

Термін окупності показує за скільки років окупляться капітальні вкладення, які можуть окупитися за рахунок прибутку або економії експлуатаційних витрат:

$$T = \frac{K}{K_d} = \frac{3862,150}{598,000} = 6,5 \text{ років}$$

Завдяки вводу в експлуатацію даної лінії збільшиться об'єм надання послуг зв'язку. Прибутки повністю покривають експлуатаційні витрати і приносять дохід. Капітальні вкладення окупляться на протязі 6 з половиною років, що підтверджує вигідність грошових вкладень в даний об'єкт.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1 Загальні положення

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних, лікувально-профілактичних заходів та засобів спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності в процесі трудової діяльності.

Галузеві норми і правила техніки безпеки розробляються на основі загальнодержавних міжгалузевих законодавчих актів, норм та правил з урахуванням специфіки виробництва і роботи в певній галузі господарства, відомства. Ці норми і правила поширюються підприємства та установи певної галузі.

Усі працівники, які зайняті на будівництві, експлуатаційному обслуговуванні та ремонті кабельних ліній зв'язку, зобов'язані знати і неухильно дотримуватися правил безпечного проведення робіт та протипожежних заходів. Основні вимоги по безпечним методам виконання робіт викладені в Правилах техніки безпеки при роботах на кабельних лініях зв'язку і радіофікації а по протипожежним заходам – в Правилах пожежної безпеки на об'єктах зв'язку.

Перед початком роботи необхідно ретельно перевірити наявність та справність інструмента, засобів захисту, запобіжних приладів. Особливу увагу по дотриманню правил техніки безпеки необхідно приділяти при виконанні наступних робіт: завантаження та розвантаження барабанів, залізобетонних виробів, люків; викопування траншей та котлованів поблизу силових кабелів і газопроводів; на перетині з повітряними лініями електропередач, контактних проводів трамвая, тролейбуса і електромереж залізної дороги; при ремонті кабелів, що використовуються для дистанційного живлення і роботи поблизу таких кабелів і т.п. Перед початком робіт на особливо небезпечних ділянках виконується відповідний інструктаж по техніці безпеки.

7.2 Інструменти та пристосування

Напруга живлення переносного електроінструменту повинна бути не вище 220 В у приміщеннях без підвищеної небезпеки і не вище 36 В у приміщеннях з

підвищеною небезпекою, особливо небезпечних та за межами приміщень. Допускається використання електроінструменту напругою 220 В при обов'язковому використанні діелектричних рукавиць. Корпуса електроінструменту з напругою більше 36 В заземлюються.

Електроінструменти та переносні електролампи повинні підключатися до джерела струму при допомозі штепсельних з'єднань з недоступними для випадкового доторкання струмопровідними частинами. Працювати з інструментом на висоті більше 2,5 м приставних драбин забороняється.

Паяльні лампи необхідно розпалювати на поверхні землі на відстані не менше 2 м від колодязя або котловану. Газовою грілкою можуть користуватися особи не молодші 18 років, які пройшли спеціальний інструктаж та здали відповідні іспити. Балони з газом повинні розміщуватися за межами колодязя та котловану на поверхні землі, закритими від прямих сонячних променів. Використання газу з балону можна здійснювати до мінімального тиску, рівного 20 кПа.

7.3 Монтажні роботи

Навантажувально-розвантажувальні роботи виконуються, як правило, механізованим способом – при допомозі кранів, автовантажувачів, блоків і т.п. Цей спосіб являється обов'язковим для вантажів масою більше 60 кг, а також при підйомі вантажів на висоту більше 3 м.

Підлітки до 16 років до перенесення вантажів не допускаються. Підлітки від 16 до 18 років і жінки допускаються до навантаження та розвантаження лише сипучих (пісок, гравій), штучних (цегла, блоки) вантажів та пиломатеріалів.

Усі навантажувально – розвантажувальні роботи повинні виконуватися в рукавицях. Перевезення робітників в кузові автомобіля з навантаженими барабанами або на вантажному транспорті заборонено.

Земляні роботи. Виконання земляних робіт в зоні розміщення кабелів, газопроводів та інших підземних комунікацій допускається лише з письмового дозволу організації яка експлуатує ці споруди. Роботи повинні виконуватися під наглядом наглядача або майстра, а на відстані ближче 2 м від діючих кабелів і газопроводів, крім цього, під наглядом представників організацій, яким належать ці споруди. Для знаходження підземних споруд, що перетинають проєктовану трасу, риються шурфи довжиною 1 м і по осі майбутньої траншеї.

Якщо підземні споруди проходять паралельно трасі що проектується, шурфи риються перпендикулярно до осі проекрованої траси через кожні 20 м. Довжина шурфа повинна перевищувати ширину проекрованої траншеї на 0,3 м з кожної сторони. При виявленні газу в траншеї або котловані роботи в них повинні бути негайно припинені, а люди виведені з небезпечної зони.

Прокладання кабелю кабеукладчиком допускається лише на ділянках, які не містять підземних споруд. Обслуговуючому персоналу забороняється знаходитися на кабеукладчику або в кузові автомобіля під час транспортування. Якщо між трактором, кабелевкладальником або іншим механізмом знаходяться люди, забороняється приводити трактор в рух.

При прокладанні кабелю вручну на кожного працівника допускається навантаження кабелю масою не більше 35 кг. При переміщенні кабелю до траншеї на плечах або руках усі працівники повинні знаходитися по одну сторону від кабелю.

Роботи на волоконно – оптичних лініях зв'язку.

До зпаювальних робіт допускаються особи не молодше 18 років. Особлива увага приділяється виконанню вимог по безпечному користуванню паяльними лампами та газовими грілками.

Для монтажу оптичного кабелю використовується пересувна лабораторія, що обладнана на базі автомобіля. В автомобілі розміщено комплект для зварювання оптичного кабелю, невеликий запас розчинника (0,3-0,5л), нефрас 50/170 в металевій ємності.

Після зняття зовнішньої оболонки необхідно усунути гідрофоб, використовуючи нефрас. Роботи необхідно виконувати при включеній приточно-втяжній вентиляції, оскільки нефрас – легкозаймиста рідина, що відноситься до шкідливих речовин.

Працівник, що здійснює монтаж волоконно - оптичного кабелю, повинен бути обережним з склотим волокном: не розкидати його, складати в певному місці і слідкувати, щоб частинки цього волокна не потрапляли на одягу.

Монтажний стіл і підлога в монтажно-вимірювальному автомобілі після кожної заміни необхідно обробляти пирососом, а потім протирати вологою ганчіркою. Ганчірку необхідно віджимати в щільних гумових рукавицях.

При роботі з пристроями для зварювання оптичного волокна необхідно дотримуватися наступних вимог:

– всі підключення і відмикання приладів, що вимагають розриву електричних кіл або з'єднань з високовольтними ланцюгами пристрою, виконувати при повному

відмиканні напруги;

- корпус приладу необхідно заземлювати;
- під час налагоджувальних робіт необхідно пам'ятати, що високовольтні провідники, електроди і режими зварювання знаходяться під високою напругою;
- забороняється експлуатація пристрою зі знятим захисним кожухом блока електродів;
- не рідше одного разу в тиждень виконувати перевірку справності ізоляції високовольтних провідників;
- забороняється працювати на пристрої при пошкодженні високовольтних провідників;
- для спостереження за процесом зварювання працівник зобов'язаний використовувати захисні окуляри.

Технологічне обладнання за нормальних умов праці має бути пожежобезпечним. Забороняється працювати на несправному обладнанні. Не можна допускати контакту речовин і матеріалів, взаємодія яких призводить до горіння, вибуху або утворення горючих чи токсичних газів.

Протипожежний захист у галузі – комплекс інженерно-технічних заходів, спрямованих на створення пожежної безпеки об'єктів і споруд.

Відповідно до вимог і норм пожежної безпеки всі виробничі, адміністративні, складські та інші приміщення і споруди виробництв та організацій обладнуються засобами автоматичної системи пожежної сигналізації, первинними засобами пожежогасіння, автоматикою для виявлення і запобігання пожеж.

При виникненні пожежі, або загорянні на будь-якій ділянці підприємства, негайно оголошується пожежна тривога та сповіщається пожежна охорона. Найчастіше для цього використовується телефон. Про пожежу доповідають чітко, називаючи адресу підприємства та прізвище того, хто повідомляє про пожежу.

Одночасно з повідомленням про пожежу працівники вживають заходів щодо її ліквідації та евакуації людей з приміщень, а також заходів щодо посилення охорони об'єкта. Для гасіння пожежі використовують первинні засоби пожежогасіння, що є на підприємстві.

Перелік питань по пожежній безпеці, що підлягають перевірці фахівцями відділу пожежної безпеки в дирекціях, центрах, вузлах, цехах і відділах:

- організація роботи щодо виконання вимог ЗУ “Про пожежну безпеку”, правил пожежної безпеки в галузі зв'язку, постанов колегій та наказів Держкомзв'язку України щодо забезпечення пожежної безпеки на об'єктах

зв'язку;

- створення служби пожежної безпеки в дирекціях, центрах, вузлах, планування роботи та виконання цих планів;
- організація роботи щодо протипожежного захисту об'єктів в центрах, вузлах, цехах та відділеннях;
- організація спеціального навчання, інструктажів та перевірки знань з питань пожежної безпеки;
- проведення щорічних оглядів протипожежного стану та підготовка наказів за результатами цих оглядів;
- забезпеченість об'єктів зв'язку знаками безпеки;
- захищеність АТС, абонентських ліній та будівель захистом від небезпечних впливів напруг та струмів, блискавкозахистом;
- забезпеченість установками автоматичного виявлення і гасіння пожеж, засобами пожежогасіння;
- протипожежний стан об'єктів та наявність позитивного експертного висновку органів державного пожежного нагляду про об'єкти, які будуються;
- взаємодія служб пожежної безпеки дирекції, центру, вузла з територіальними органами державного пожежного нагляду усунення недоліків, виявлених раніше фахівцями відділу пожежної безпеки;
- планування і використання цільових коштів на виконання заходів з питань пожежної безпеки;
- реагування дирекції на пожежі та загоряння, які виникли на об'єктах галузі зв'язку;
- надання практичної і медичної допомоги з питань пожежної безпеки.

Контроль стану пожежної безпеки в структурних підрозділах (центрах, вузлах) проводиться фахівцями системи пожежної безпеки не рідше одного разу в квартал (вибірково), затвердженим керівником дирекції.

ВИСНОВОКИ

Результатом виконання дипломної роботи є проєктування та розрахунок параметрів кабельної мережі між двома містами.

Місцевість, на якій проводилося проєктування, є рівнинного типу. Труднощів при прокладанні кабелю не має виникати, значних перешкод на шляху прокладання немає.

На маршруті є місця, де необхідне безпосереднє втручання людини в процес прокладання. Такими місцями є переходи через річки по мостах, через перетини автошляхів, непередбаченими особливостями рельєфу тощо. Нові маршрути прокладання можуть перетинатися з маршрутами вже прокладених кабельних трас, саме тому тут також необхідна ручна прокладка, щоб не пошкодити існуючу магістраль.

Під час роботи було проведено розрахунок конструкції оптичного кабелю, основних параметрів, проведені розрахунки дисперсії та загасання у одномодовому оптичному волокні, а також довжини регенераційних ділянок для даної траси. Виконана реалізація завдання спроекувати ВОЛЗ з заданими параметрами по швидкості передачі та необхідною смугою пропускання. Розроблено ситуаційний план траси прокладання кабелю, визначено найбільш оптимальне розміщення MUX. Також в роботі розглянуто правила та положення з охорони праці, запропоновані безпечні прийоми роботи, особливо, при монтажі та вимірюваннях в оптичних кабелях, а також питання з охорони навколишнього середовища при прокладанні кабелю через річки, канали та зелені насадження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Оптичні системи передачі / Б.В. Шпаків, В.И. Іванов, В.В. Крухмалев; Під ред. В.И. Іванова. - М.: Радіо і Зв'язок, 1994. - 224 с..
2. Будівництво і технічна експлуатація волоконно-оптичних ліній зв'язку / В.А. Андрєєв, В.А. Бурдин, Б.В. Попов, А.И. Польников; Під ред. Б.В. Попова. - М.: Радіо і Зв'язок, 1995. - 198 с
3. Дьоміна Е.В. і ін. Організація, планування й керування підприємством зв'язку. - М.: Радіо і Зв'язок, 1990. - 352 с.
4. Слепов Н.Н. Синхронні цифрові мережі SDH. , 1997. - 149 с.
5. Уїлкі Ю. Вплив каналних ефектів на характеристики систем МІМО // Електронні компоненти. 2009. № 10. С. 27 – 30.
6. Довгий С.О., Омеляненко Ю.І. Телекомунікації України. Частина друга / За зам. ред. С.О. Довгого. - К.: Укртелеком, 2002. - 352 с.
7. Атлас автомобільних доріг Львівської області. - Львів: Вид-во Львів, 2015..
8. S42022-D3502-N4-1-5618. Технічний опис SMA 1R2 фірми «SIEMENS» / Public Communication Networks Group Hofmannstrasse 51, D-81359Munchen.
9. Корнейчук В.И.,Макаров Т.В., Панфілов И.П.Дроживальський О.П. Проектування волоконно-оптичних систем передачі:Учеб.посібник / Укр. державна академія зв'язку ім. А.С. Попова. Одеса, 1999. 118с.
10. Оптичні кабелі. Основні характеристики та методи випробувань // Керівний нормативний документ з стандартизації Державного комітету зв'язку та інформатизації України. - Київ, 2001.

КОПІЇ ОБОВ'ЯЗКОВИХ КРЕСЛЕНЬ