

**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: **Розробка та впровадження інфраструктури для  
високошвидкісного багатохвильового зв'язку у Львівській області**

Виконав студент IV курсу, групи ТК-41  
спеціальності 172 Телекомунікації та  
радіотехніка  
ОПП «Телекомунікації та комп'ютерні  
технології»  
**Іваник Роман 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**

*Іванику Роману Васильовичу*

(прізвище, ім'я та по батькові)

---

1. Тема роботи	<i>Розробка та впровадження інфраструктури для високошвидкісного багатохвильового зв'язку у Львівській області</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 Проаналізувати характеристику і технічні дані обраної системи передач

---

3.2 Обґрунтувати вибір типу та розрахунок довжини оптичного кабелю

---

3.3 Розрахувати довжину підсилювальної ділянки

---

3.4 Визначити довжини регенераційної ділянки за дисперсією

---

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки

---

4.1 Розробка багатохвильової транспортної мережі

---

4.2 Обґрунтування вибору обладнання, компонентів та матеріалів ВОСП

---

4.3 Визначення довжини підсилювальної ділянки та побудова скелетної схеми ВОЛЗ.

---

4.4 Вирішення найважливіх складових комплексної задачі проектування вузлів та ліній передачі ВОСП

---

4.5 Техніко-економічне обґрунтування

---

4.6 Охорона праці та безпека життєдіяльності

---

## 5. Перелік графічного матеріалу

5.1.	<i>Топологія «кільця» із захистом 1:1</i>
5.2.	<i>Склад обладнання мультіплексора SMA16</i>
5.3.	<i>Оптичні кабелі виробництва ПАТ «Одескабель»</i>
5.4.	<i>Схема організації зв'язку ВОЛЗ</i>
5.5.	<i>Геологічні будови Львівської області</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>	<i>25.04.2025р.</i>	<i>25.04.2025р</i>
Охорона праці та безпека життєдіяльності	<i>Олена МЕЛЬНИКОВА викладач першої категорії</i>	<i>25.04.2025р.</i>	<i>25.04.2025р.</i>

7. Дата видачі завдання « 25 » квітня 2025 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання	Примітка
1	<i>Вступ. Розробка багатохвильової транспортної мережі</i>	<i>25.04-01.05</i>	
2	<i>Обґрунтування вибору обладнання, компонентів та матеріалів ВОСП</i>	<i>02.05-08.05</i>	
3	<i>Визначення довжини підсилювальної ділянки та побудова скелетної схеми ВОЛЗ.</i>	<i>09.05-15.05</i>	
4	<i>Вирішення найважливіх складових комплексної задачі проектування вузлів та ліній передачі ВОСП</i>	<i>16.05-22.05</i>	
5	<i>Техніко – економічне обґрунтування</i>	<i>23.05-29.05</i>	
6	<i>Охорона праці та безпека життєдіяльності</i>	<i>30.05-03.06</i>	
7	<i>Висновки</i>	<i>04.06-05.06</i>	
8	<i>Підготовка графічного матеріалу.</i>	<i>06.06-09.06</i>	

Здобувач

(підпис)

Роман ІВАНІК

(ім'я, прізвище)

Керівник роботи

(підпис)

Олег ЛЕЦАК

(ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Текстова частина дипломної роботи: 65 с., 16 рис., 3табл., 11 джерел.

Об'єкт дослідження – синхронна транспортна мережа Львівської області

Мета роботи – розробити багатохвильову високошвидкісну лінію зв'язку

Мета дослідження – аналітичний з використанням комп'ютерних технологій.

В дипломній роботі була розроблена багатохвильова високошвидкісна лінія зв'язку Львівської області. Виконано ескізний проект волоконно-оптичної лінії зв'язку з розробкою найбільш значущих аспектів, включаючи вибір обладнання та комплектуючих, проектування ліній та вузлів ВОСП.

STM , SDH, ПЦП, СЦ, ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО, ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИЙ  
КАБЕЛЬ

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 РОЗРОБКА БАГАТОХВИЛЬОВОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ.....	8
1.1 Загальні положення .....	8
1.2 Конфігурація мережі .....	11
1.3 Характеристика і технічні дані обраної системи передач .....	15
1.4 Комплектація обладнання .....	18
2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ, КОМПОНЕНТІВ ТА МАТЕРІАЛІВ ВОСП .....	21
2.1 Обґрунтування вибору типу та розрахунок довжини оптичного кабелю	21
2.2 Обґрунтування вибору оптичних муфт та ODF.....	25
2.3 Обґрунтування вибору комутуючого обладнання .....	28
2.4 Волоконно-оптичні підсилювачі EDFA .....	29
3 ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ПІДСИЛЮВАЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ ТА ПОБУДОВА СКЕЛЕТНОЇ СХЕМИ ВОЛЗ .....	35
3.1 Розрахунок довжини підсилювальної ділянки .....	35
3.2 Визначення довжини регенераційної ділянки за дисперсією .....	38
4 ВИРІШЕННЯ НАЙВАЖЛИВИХ СКЛАДОВИХ КОМПЛЕКСНОЇ ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ ТА ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧІ ВОСП.....	43
4.1 Організація будівництва лінійно-кабельних споруд.....	43
4.2 Облаштування телекомунікаційних вузлів (ОРП/НРП).....	45
5 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ.....	48
5.1 Розрахунок капітальних витрат на розробку.....	48
5.2 Складові структури витрат на розробку.....	48
5.3 Витрати на відлагодження розробки.....	50
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЕДІЯЛЬНОСТІ.....	52
6.1 Загальні положення.....	52
6.2 Організація охорони праці на підприємстві.....	53
6.3 Заходи безпеки на робочому місці.....	55

6.4 Санітарно-гігієнічні вимоги.....	56
ВИСНОВКИ .....	58
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	59
КОПІЇ ОBOB'ЯЗKOBИХ KPECЛEНЬ.....	60
Лист 1 Топологія «кільця» із захистом 1:1 .....	61
Лист 2 Склад обладнання мультиплектора SMA16 .....	62
Лист 3 Оптичні кабелі виробництва ПАТ «Одескабель» .....	63
Лист 4 Схема організації зв'язку ВОЛЗ .....	64
Лист 5 Геологічні будови Львівської області .....	65

## ВСТУП

Найбільшу швидкість передачі на даний час забезпечують волоконно-оптичні системи (ВОСП).

Оскільки на даний час ВОСП зі щільним спектральним мультиплексуванням (надалі – ВОСП DWDM) є найбільш швидкісними, то предметом досліджень є розробка рішень щодо використання таких систем для організації широкосмугового багатоканального зв'язку між кінцевими вузлами, що розташовані на значній відстані (до 100 км і більше).

Тема роботи передбачає приділення основної уваги саме розробці проектних рішень щодо лінії передачі оптичних сигналів, включаючи лінійно-кабельні споруди (ЛКС). Втім, самі по собі ЛКС без телекомунікаційного обладнання не вирішують кінцеву задачу – задачу передачі інформації. Більш того, без врахування параметрів передаючих та приймальних пристроїв, параметри ЛКС визначити неможливо. Тобто, для вирішення задач передачі даних необхідно застосовувати системний підхід і проектувати як лінії, так і вузли зв'язку.

Задачі вирішуються для умовного оператора зв'язку регіонального рівня Львівської філії АТ «Укртелеком» який здійснює проектування та будівництво ВОСП насамперед для передачі власного трафіку між кінцевими пунктами (КП). Втім, з урахуванням значної вартості реалізації проекту, Оператор планує частково забезпечити його окупність наданням в оренду окремих каналів передачі даних та/або «сліпого» оптичного волокна (ОВ) іншим операторам та провайдерам, а також планує взяти участь у державних програмах подолання цифрової нерівності.

# 1 РОЗРОБКА БАГАТОХВИЛЬОВОЇ ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

## 1.1 Загальні положення

У даній дипломній роботі у відповідності з технічним завданням, необхідно розробити багатохвильову високошвидкісну лінію зв'язку Львівської області яка повинна з'єднувати міста Львів, Дрогобич, Яворів, Стрий, Самбір, Червоноград, Золочів, згідно новоствореними районами області.

Обґрунтуємо необхідність зв'язку між вибраними пунктами. Тяжіння вибраних пунктів за послугами зв'язку залежить від чисельності населення. Ступінь зацікавленості у зв'язку залежить від економічних, культурних та соціально-побутових відношень між населеними пунктами.

Наведемо скорочену характеристику обслуговуваних пунктів:

Львів – місто обласного значення в Україні, адміністративний центр Львівської області, національно-культурний та освітньо-науковий осередок країни, великий промисловий центр і транспортний вузол, вважається столицею Галичини та центром Західної України. Населення міста складає 7580000 людей.

Дрогобич – районний центр. Дрогобич розташований в південно-західній частині Львівської області на річці Тисмениці, на межі Наддністрянської рівнини і Карпатського передгір'я. Разом зі Стебником становить окрему адміністративно-територіальну одиницю Львівської області. Є центральним містом Прикарпатської агломерації, яка, крім Дрогобича, включає в себе Борислав, Стебник, Східницю, Трускавець та прилеглі села.

Дрогобич – розвинутий природно-господарський комплекс, друге за промисловим потенціалом місто області. Промисловий потенціал міста формують такі основні галузі:

- машинобудування (45 %),
- нафтопереробка (37 %),
- харчова (7,5 %),
- будівельних матеріалів (1,2 %),

- легка (1 %), хімічна (0,7 %),
- поліграфічна (0,1 %).

До складу багатогалузевого промислового комплексу входять 31 промислові підприємства, що перебувають на постійному балансі (без малих підприємств), які виробляють широкий асортимент промислової продукції.

Самбір – місто обласного значення у Львівській області, адміністративний центр Самбірського району. 2010 р. у Самборі вперше в Україні запрацювала одна з філій відомої компанії з виробництва меблів «Embawood». Фабрика випускає експортну продукцію для країн ЄС і для внутрішнього ринку.

Чеськими інвесторами ведеться будівництво сучасних очисних споруд.

У 2016 році запрацювало деревообробне підприємство "ЕІМО", яке входить в склад польської групи Polikat S.A. - одного з основних постачальників продукції для компанії ІКЕА. У 2019 році на підприємстві запрацював цех з виробництва лущеного шпону з високотехнологічним устаткуванням.

У 2016 і 2017 роках у Самборі компанія ОНУР відкрили два асфальтні заводи для реконструкції національних і регіональних доріг, що проходять через Самбір, і також проводяться роботи з реконструкції доріг у Самбірському районі.

У 2018 році запрацювала перша в області Самбірська сортувальна лінія побутових відходів.

Стрий – місто обласного значення у Львівській області, районний та адміністративний центр Стрийського району.

Один із головних та найбільших транспортних вузлів Західної України, важливий економічний та культурний центр Львівської області. Місто розташоване на лівому березі річки Стрий. Населення міста – 60 тис. осіб, площа – 16,95 км<sup>2</sup>. Стрий є одним із промислово розвинутих центрів Львівської області. Переломним для розвитку економіки міста став 1999 рік, коли промисловість пододала тривалий період спаду виробництва. Важливим для промисловості міста став 2003 рік, коли завершилося будівництво заводу німецької фірми Leoni AG (ТзОВ «LEONI Wiring Systems UA (GmbH)»). У розбудову проекту було інвестовано понад 50 млн євро. Виготовленими на заводі кабельними мережами

оснащуються автомобілі світових брендів «Опель», «Порше» та «Фольксваген». Після 2008 року на показники промисловості негативно вплинула світова фінансова криза.

Промисловість в місті представлена такими галузями: машинобудівною, металообробною, деревообробною, легкою, харчовою, поліграфічною та виробництвом будівельних матеріалів. Стрий – осідок газового промислу області і тут розташоване Стрийське газопромислове управління.

Червоноград – місто обласного значення у Львівській області.

Важливий центр гірничодобувної промисловості Львівсько-Волинського вугільного басейну. Займає третє місце за населенням у Львівській області. У підпорядкуванні Червоноградської міської ради, крім Червонограда, також перебувають селище міського типу Гірник і місто Соснівка. Розміщене місто в Надбужанській котловині над р. Західним Бугом у північній частині Львівської області.

З 1951 року місто стало одним із центрів новопосталого Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Питома вага окремих галузей у галузевій структурі промислового виробництва у звітному році відповідно становила:

- добувна промисловість – 68,9 %
- легка – 12,8 %
- харчова – 2,3 %
- машинобудівна – 2,4 %
- виробництво та розподіл електроенергії, газу, води – 9,5 %
- металургія та оброблення металу – 3 %
- поліграфія – 0,2 %
- інші – 0,9 %

У Червонограді діє понад 4 тис. суб'єктів господарської діяльності – юридичних та фізичних осіб, в тому числі 350 малих підприємств.

Яворівський район – адміністративна одиниця Львівської області України .  
Адміністративний центр – місто Яворів .

Район розташований на заході області. Площа району (у старих межах до 2020 року) становила 1548 км.

Західна частина району – рівнинна, а східна належить до Ростоцького географічного регіону Ростоцько-Опольської лісостепової фізико-географічної області. Середня висота розташування населених пунктів, які розміщені у лісостеповій зоні, становить приблизно 280 метрів над рівнем моря. Чверть загальної площі району займає Яворівський військовий полігон.

Яворівський район – один із найбільших за величиною та промисловим потенціалом регіон Львівської області. Наявність власних з корисними копалинами; мережа автомобільних колій та залізниць міжнародного значення, високий рівень урбанізації – створюють умови для розвитку промисловості та участі у державному та міжнародному поділі праці.

У районі розвинені харчова, легка, хімічна, деревообробна, видавнича, машинобудівна галузі промисловості та виробництво будівельних матеріалів. Завдяки функціонуванню з 1999 року Закону України «Про спеціальну економічну зону Яворів запроваджуються нові виробничі галузі, зростає експортний потенціал району.

Золочів – місто районного значення Золочівського району Львівської області, районний центр. Розташоване за 64 км від Львова на автошляху Рава-Руська – Тернопіль. Територія міста становить 11,64 км<sup>2</sup>, населення – 24 тис. мешканців. Нині в місті працює 20 промислових підприємств, з них 5 харчової промисловості, 4 електронної (Золочівський радіозавод), легкої тощо. Крім цього, функціонує 300 господарств з недержавною формою власності.

## **1.2 Конфігурація мережі**

### **1.2.1 Топологія мереж SDN**

Для рішення конкретних задач розглянемо базові топології і їх особливості:

а) Точка-точка. З'єднання вузлів А і В за допомогою термінальних мультиплексорів є найбільш простим прикладом організації мережі SDN (рис.1.1).

Основний і резервний (електричні чи оптичні) агрегатні виходи формують систему резервування типу 1+1. При відмові основного каналу мережа автоматично переходить на резервний.

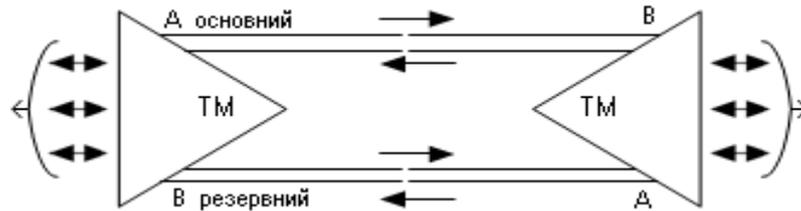


Рисунок 1.1 – Топологія «точка-точка», реалізована з використанням ТМ

Завдяки своїй простоті саме ця топологія широко використовується при передачі великих потоків даних високошвидкісних магістральних каналів (наприклад, по трансокеанським підводним кабелям). Її застосовують при переході до більш високих швидкостей - 2,5 і 10 Гбіт/с в якості «радіусів» у мережі з «радіально-кільцевою» топологією і як основу для топології «лінійний ланцюг». Топологію «точка-точка» з резервуванням можна розглядати і як спрощений варіант топології «кільце».

б) топологія «лінійний ланцюг» (рисунок 1.2). Застосовується, якщо інтенсивність трафіка мережі невелика, і в ряді точок лінії необхідно зробити відгалуження для введення і виведення каналів доступу. Вона реалізується при використанні як термінальних мультиплексорів, так і мультиплексорів введення/виведення. Ця топологія нагадує лінійний ланцюг, що складається з окремих ланок мультиплексорів введення/виведення. Для неї можливе з'єднання без резервування (рис. 1.2) і з резервуванням типу 1 + 1 (рис. 1.3). Останній варіант іноді називають «плоске кільце».

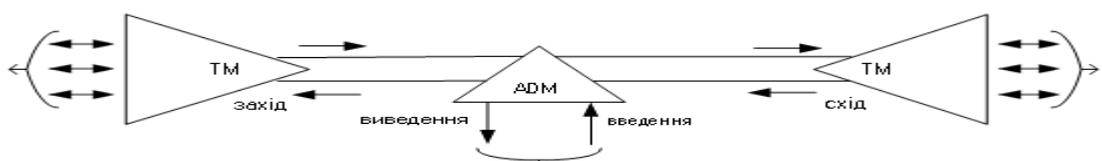


Рисунок 1.2 – Топологія « лінійного ланцюга», яка реалізована з використанням ТМ і ADM

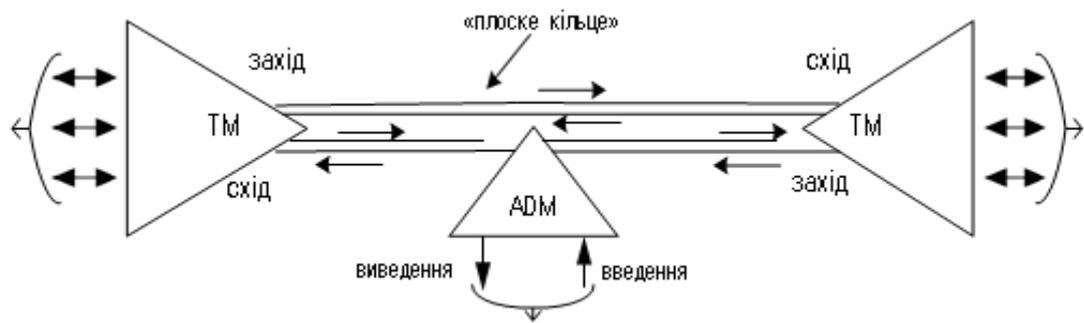


Рисунок 1.3 – Топологія «лінійного ланцюга» із захистом 1:1 типу «плоске кільце»

в) топологія «зірка», що реалізує функцію концентратора. У цій топології один з вилучених вузлів мережі, зв'язаний з центром комутації (наприклад, цифрова АТС) чи вузлом мережі SDH на центральному кільці, відіграє роль концентратора, у якого частина трафіка виведена, наприклад, на термінали користувачів, а канали, що залишилися, розподілені по інших вилучених вузлах (рис.1.4). Очевидно, що такий концентратор повинен бути активним і інтелектуальним (у термінології локальних мереж), іншими словами, необхідно, щоб він мав властивості мультиплексора введення/виведення з розвинутими можливостями крос-комутації. Концентратор, на вході якого подаються частково заповнені потоки STM- N-1 чи STM-N, а вихід також відповідає STM-N, називають оптичним

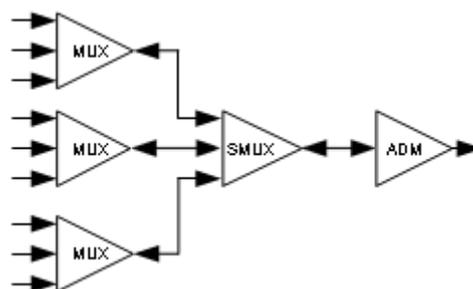


Рисунок 1.4 – Топологія типу «зірка» з використанням концентратора як центральний вузол

г) топологія «кільце». Ця топологія широко використовується для побудови мереж SDH перших рівнів (зі швидкостями 155 і 622 Мбіт/с). Її основна перевага -

легкість організації захисту типу 1 + 1 завдяки наявності в мультиплексорах SMUX двох оптичних агрегатних виходів, що дозволяють зформувати подвійне кільце з зустрічними потоками (показані стрілками на рис.1.5). Організувати систему захисту можна двома способами. Суть першого способу полягає в тому, що блокові віртуальні контейнери TU-n, передаються одночасно в двох протилежних напрямках по різних кільцях. Якщо в момент прийому блоку відбувається збій в одному з кілець, система керування автоматично вибирає цей же блок з іншого кільця.

Другий спосіб захисту припускає можливість переключення з «основного» кільця на «резервне». Спочатку блоки TU-n мають доступ тільки до основного кільця. У випадку збою відбувається замикання основного і резервного кілець на границях дефектної ділянки (рис. 1.5), тобто приймач і передавач агрегатного блоку з'єднуються на відповідній стороні мультиплексора. Так утвориться нове кільце. Сучасні програми керування мультиплексорами звичайно підтримують обидва методи захисту.

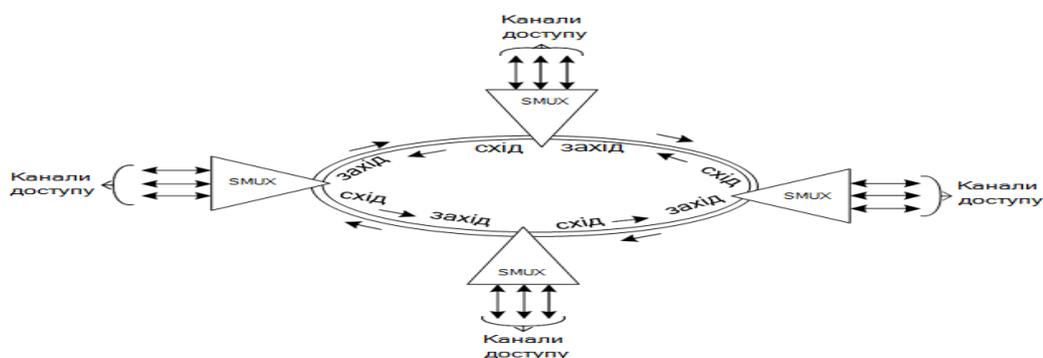


Рисунок 1.5 – Топологія «кільця» із захистом 1:1

### 1.2.2 Функціональні методи захисту синхронних потоків

При проектуванні мереж СЦІ важливо забезпечити їхню надійність і живучість. Технологія SDH дозволяє організувати таку мережу, при якій досягається не тільки висока надійність функціонування, обумовлена використанням ВОК, але і можливість збереження або відновлення (за дуже короткий час у десятки мілісекунд) працездатності мережі, навіть у випадку

відмовлення одного з елементів або середовища передачі кабелю. Крім того, вмонтовані засоби контролю і керування полегшують і прискорюють виявлення несправностей і переключення на резервні ємності. Тому стосовно до мереж SDH іноді використовується термін «самозаліковуючіся».

Існують різні методи забезпечення швидкого відновлення працездатності синхронних мереж, що можуть бути зведені до наступних схем:

- резервування ділянок мережі по схемах 1+1 і 1:1 по рознесених трасах;
- організація кільцевих мереж, що самовідновлюються, резервованих по схемах 1+1 і 1:1;
- резервування термінального устаткування по схемах 1:1 і N:1; відновлення працездатності мережі шляхом обходу непрацездатного вузла;
- використання систем оперативного переключення.

### **1.3 Характеристика і технічні дані обраної системи передач**

#### **1.3.1 Вибір системи передач**

Основним і найбільш універсальним виробом апаратури SDH є цифровий мультиплексор.

Щоб додавати в мережу або вилучати з неї цифрові потоки, або транспортні одиниці і групи зі швидкостями 2, 34, 140 чи 155 Мбіт / с використовуються мультиплексори вводу/виводу (ADM). Мультиплексори можуть виконувати функції перестановки тимчасових позицій каналів і трактів, а також підтримувати функції конфігурації і контролю мережі.

Мультиплексор STM-16 призначений для організації цифрового потоку зі швидкістю передачі 2,5Гбіт/с. працюючий по одномодовому оптичному кабелю довжиною хвилі 1550нм.

Мультиплексор SMA16/4 фірми Siemens є новим поколінням синхронного мультиплексора технології SDH, що виконує мультиплексування трибутарних сигналів PDH та SDH в агрегатний сигнал рівня STM-16. Продукт складається із

загальних модулів апаратно-програмного забезпечення для мережних додатків STM-1, STM-4 та STM-16.

Мультиплексор SMA16/4 має високий рівень гнучкості: він може використовуватися як мультиплексор вводу/виводу, як місцевий крос-конектор або як звичайний лінійний термінал.

Мультиплексор SMA16/4 пропонує гнучке оснащення трибутарних інтерфейсів в межах від 2 Мбіт/с PDH до оптичних та електричних стиків STM-1 та оптичних стиків STM-4 синхронної цифрової ієрархії. Устаткування може вміщувати ряд трибутарних знімних модулів, що забезпечують 100-відсоткове введення/виділення через неблокуючу матрицю комутації з ефективною ємністю 64 еквівалентів STM-1 (або 4032 TU-12). Можливе виділення та вставка на всіх рівнях VC (VC-4, VC-3 та VC-12).

Однією з основних характеристик SMA16/4 є загальна платформа апаратно-програмного забезпечення, що дозволяє без обмежень виконувати введення/виділення сигналів, що передаються зі швидкістю 2 Мбіт/с (VC-12), безпосередньо з лінійних сигналів STM-1, STM-4 та STM-16. У SMA16/4 є можливість виділення до 252 портів (по 2 Мбіт/с) (42 порти на модуль) з можливістю резервування трибутарних модулів 1:N

Основні характеристики обладнання:

- оптичні лінійні інтерфейси STM-16 для застосування у волоконно-оптичних лініях відповідно до Рекомендацій ITU-T G.692;
- трибутарні електричні інтерфейси зі швидкістю передачі 2, 34, 45 та 140 Мбіт/с, оптичні та електричні інтерфейси STM-1, Ethernet 10/100 Base T, Ethernet 100, а також оптичні інтерфейси STM-4;
- ємність матриці крос-комутації 64'STM-1 еквівалентів на рівні AU-4, TU-3, -2, -12;
- функція введення/виділення до 32'STM-1 портів SDH та до 252'2 Мбіт/с портів PDH;
- можливість створення неблокованих з'єднань лінія-лінія, лінія-триб та триб-триб;

- кільцеве з'єднання для кілець на стороні лінії та трибу;
- система захисту трафіку, включаючи:
- 1:1 захист модулів для всіх оптичних інтерфейсів разом із захистом секції мультиплексора (перемикання модулів),
- 1+1 захист модулів для трибутарних інтерфейсів 34/45 Мбіт/с,
- 1:n (n=1..3) захист модулів для електричних інтерфейсів E4/STM-1,
- 1:n (n=1..6) захист модулів для трибутарних інтерфейсів 2 Мбіт/с,
- опціональне резервування модулів комутації та синхронізації.

### **1.3.2 Характеристика транспортної системи**

Досягнення сучасної техніки комутації і передачі привели до того, що зникла необхідність у створенні сучасної цифрової транспортної мережі чи системи. Транспортна система (ТС) – це інфраструктура, поєднуюча ресурси мережі, що виконують функції транспортування. При транспортуванні виконуються не тільки переміщення інформації, але й автоматизоване і програмне керування складними конфігураціями (кільцевими і розгалуженими), контроль, оперативне переключення та інші мережні функції. ТС є базою для всіх існуючих планованих служб, для інтелектуальних, персональних і інших перспективних мереж, у яких можуть використовуватися синхронний чи асинхронний способи переносу інформації.

Транспортна система СЦІ – органічна сполука інформаційної мережі і системи контролю і керування SDH. Навантаженням інформаційної мережі СЦІ можуть бути сигнали існуючих мереж ПЦІ, а також сигнали нових служб і мереж зв'язку. Аналогові сигнали попередньо перетворюються в цифрову форму за допомогою наявного на мережі устаткування.

В інформаційній мережі СЦІ чітко витримується розподіл по функціональних шарах. Мережа містить три топологічно незалежних шари (канали, тракти і середовище передачі), які підрозділяються на більш спеціалізовані шари. Кожен шар виконує визначені функції і має точки доступу. Вони оснащені власними засобами контролю і керування, що мінімізує зусилля

при ліквідації аварій і знижує їхній вплив на інші шари. Функції шару залежать від фізичної реалізації нижнього обслуговуючого шару. Кожен шар може створюватися й удосконалюватися незалежно.

В інформаційній мережі використовуються принципи контейнерних перевезень. Завдяки цьому мережа SDH досягає універсальних можливостей транспортування різнорідних сигналів. У транспортній системі SDH переміщуються не самі сигнали навантаження, а нові цифрові структури віртуальні контейнери, у яких розміщуються сигнали навантаження, що підлягають транспортуванню. Мережні операції з контейнерами виконуються незалежно від змісту. Після доставки на місце і вивантаження сигнали навантаження знаходять вихідну форму. Тому транспортна система SDH є прозорою.

Створення мережних конфігурацій, контроль і керування окремими станціями і всією інформаційною мережею здійснюється програмне і дистанційно а допомогою системи обслуговування SDH.

У шарі середовища передачі самими великими структурами SDH є синхронні транспортні модулі (STM), що представляють собою формати лінійних сигналів. Для створення високошвидкісних лінійних сигналів використовується синхронне мультиплексування потоків інформації.

#### **1.4 Комплектація обладнання**

Обладнання мультиплексора SMA16 складається, в основному, з таких елементів :

- базові елементи (ядро) входять до складу будь-якої конфігурації, а саме: контролер апаратури (CCU), комутатор з еквівалентною ємністю  $128 \times 128$  STM-1, блок живлення (Power LTU), блок управління та синхронізації (Management&Sync LTU), флеш-карта, лоток з вентилятором;
- елементи для резервування ядра, резервний блок живлення й комутатор;

- інтерфейси для передачі трафіку – (STM-1/4/16/64 - лінійні /трибутарні/LTU та трибутарні PDH);
- локальний термінал.

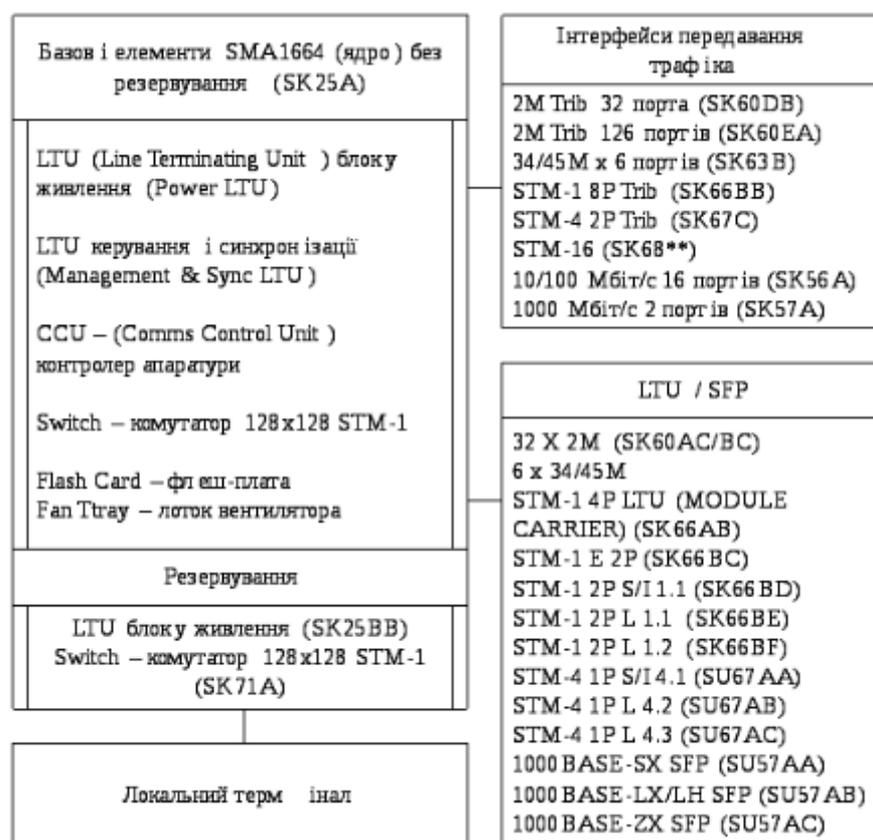


Рисунок 1.7 – Склад обладнання мультиплексора SMA16

Схема мультиплексора SMA16 представлена на (рис. 1.8), де уведено такі позначення: L – слоти для лінійних плат, T - слоти для трибутарних плат, LTU – слоти для плат закінчення лінії (LineTerminatingUnit). Плати LTU призначені для узгодження виходів трибутарних PDH плат з конкретними типами сполучних ліній, наприклад, симетрична 120 Ом або несиметрична 75 Ом, або ж дозволяють для плат STM-1 збільшити число портів (4 порти STM-1 на трибутарній платі й 4 – на платі LTU), а також використовувати резервування. Цифри 16 або 32 біля шин указують наявну для слоту еквівалентну пропускну здатність –STM-16 або STM-32.

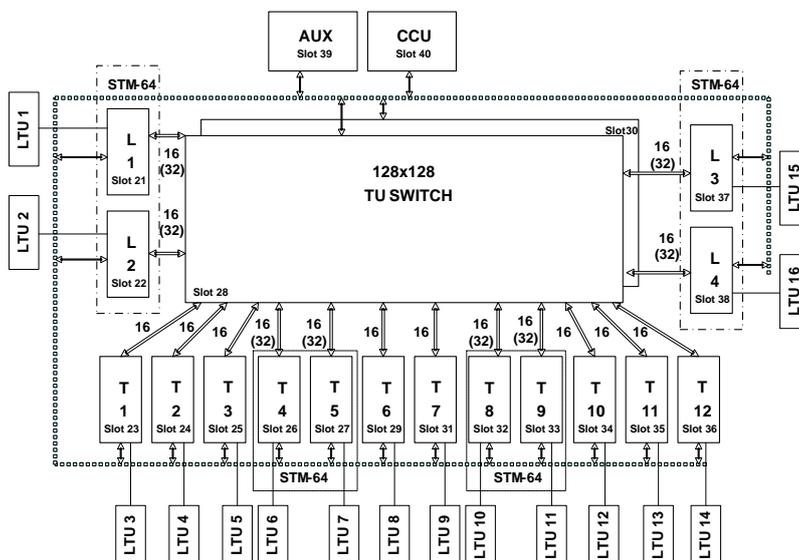


Рисунок 1.8 – Схема мультиплексора SMA16

Для установки SMA1664 можуть використовуватися стійки двох різних типів. Це шафа 600 x 600 ETSI або стійка 600 x 300 ETSI, що відповідають ETS 300 119-2, і стійка 19".

Шафа й стійка ETSI мають такі розміри: висота стійки 2200 мм; зовн. ширина стійки 600 мм (шафа ETSI) і 300 мм (стійка ETSI); глибина стійки 600 (шафа ETSI) або 300 мм (стійка ETSI). Висота прорізу для розміщення обладнання 2000 мм

Конструкція стійки/шафи дозволяє направляти кабелі, що йдуть до обладнання зв'язку, або по спеціальним, підтримуючим кабель конструкціям, або під фальшпідлогою. Тобто доступ для уведення кабелю забезпечується як зверху, так і знизу стійки/шафи.

Хоча на стійку можна встановити дві касети, це можливо, тільки якщо не встановлюється полиця для оброблення волокна.

Якщо існує вимога забезпечити велику кількість закінчень для PDH, то небажано встановлювати на одну полицю дві касети через високу щільність кабелів і велику тепловіддачу.

## 2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ОБЛАДНАННЯ, КОМПОНЕНТІВ ТА МАТЕРІАЛІВ ВОСП

### 2.1 Обґрунтування вибору типу та розрахунок довжини оптичного кабелю

У завданні передбачається, що оператор ЛФ ПАТ «Укртелеком» реалізує проект ВОСП для забезпечення передачі трафіку власних абонентів, а також можливості надання в оренду «сліпих» ОВ.

Розрахунок кількості ОВ будемо виконувати парами, що відповідає типовому застосуванню ОК для організації сучасних ВОСП: одне волокно забезпечує передачу у прямому напрямку, друге – у зворотному.

Для власних потреб Оператор використовує 2 пари ОВ – одну безпосередньо для передачі трафіку, другу – для організації резервування зв'язку. З метою надавання в оренду «сліпих» ОВ оператор організує відвід однієї пари в кожний проміжний НП з обох КП. Ці пари можуть надаватись користувачам, які потребують ВОСП із підвищеним захистом інформації (органи державної влади та місцевого урядування, відділенням банків, підприємствам оборонного комплексу та ін.), а також місцевим операторам або провайдерам. Також оператор передбачає загальний резерв пар ОВ на розвиток власної мережі та мереж користувачів не менш як 50% від розрахункової кількості. Отже, кількість пар ОВ отримується за формулою:

$$P_{\Sigma} = [(P_B + n_{НП} \cdot P_{НП}) \cdot 1,5] + 1. \quad (2.1)$$

де  $P_B$  – кількість пар ОВ для власних потреб;

$n_{НП}$  – кількість проміжних НП;

$P_{НП}$  – норма кількості пар ОВ для відводу у кожний НП.

Розрахунки за формулою (2.1) у нашому випадку дають значення:

$$P_{\Sigma} = [(2+4 \cdot 1) \cdot 1,5] + 1 = 10.$$

$$\text{Відповідно, кількість ОВ } B_{\Sigma} = 2 \cdot P_{\Sigma} = 20.$$

Втім, дана кількість не є стандартною для виробників ОК. Звичайні зразки мають кількість ОВ 8, 12, 16, 24, 36, 48, 64 і т.д. Дані числа пояснюються тим, що ОВ можуть мати 12 кольорів та ще 12 тих самих кольорів з кільцевими мітками (всього 24 різних «кольорів»). Також важно, щоби у різних модулях ОК модульної структури (рис. 2.1,а) була одна кількість ОВ: при цьому всі модулі виготовляються на одній тій же виробничій лінії.



а) Кабель модульної конструкції

ОКЛБг

б) Кабель з центральною трубкою

ОКТБг

Рис. 2.1 – Оптичні кабелі виробництва ПАТ «Одескабель»

З цих міркувань обираємо значення:  $P_{\Sigma}=12$ ;  $B_{\Sigma}=24$ .

Важливе питання – вибір виробника та постачальника ОК. Відома значна кількість іноземних виробників: Nokia (Фінляндія), Siemens (Німеччина), Light Connection (Об'єднані Штати Америки) та багато інших. Відомі два українських виробника ОК: ПАТ «Південькабель» (м. Харків) та ПАТ «Одескабель» (м. Одеса). Відмітимо, що характеристики ОК тих самих типів приблизно однакові для продукції різних виробників. Втім, перевагу віддамо українським підприємствам з наступних міркувань:

– при інших рівних умовах перевагу слід віддавати вітчизняним виробникам, підтримуючи загальнодержавну економіку;

– кабель закордонних виробників, як правило, дорожчий за вітчизняний (можливо, за рахунок більшого рівня складової заробітної плати у структурі собівартості);

– доставка кабелю з українських виробництв значно дешевша, ніж від закордонних;

– укладання угод на постачання ОК з вітчизняними виробниками набагато простіше;

– простіше і швидше відбувається заміна ОК у випадку рекламаций та ін.

Характеристики де яких зразків ОК з 24 ОВ вітчизняного виробництва наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльні характеристики оптичного кабелю

Параметр / характеристика	Виробник, тип кабелю		
	ПАТ «Одескабель» Кабель з центральною трубкою ОКТЬБг- М(2,7)П2х12Е1	ПАТ «Одескабель» Кабель модульної конструкції ОКЛБг-4- ДА(2,7)П-6х4Е1- 0,36Ф3,5/0,22Н18-8/0	ПАТ «Південькабель» Кабель модульної конструкції ОБГПО- 24А4(4х6)-1,5
Кількість ОВ	24	24	24
Кількість оптичних модулів (JV)	0	4	4
ОВ у модулі / трубці	24	6	6
Тип ОВ	G.652, G.653, G.655	G.652, G.653, G.655	G.651, G.652
Тип броні	гофрована стрічка	гофрована стрічка	гофрована стрічка
Зовнішній діаметр, мм	9,8 ± 0,6	11,4 ± 0,6	11,8 ± 0,6
Маса кабелю, кг/км	113	131	136
Допустиме роздалююче зусилля, Н/100 мм	3000	3000	3000

Продовження таблиці 2.1

Допустиме розтягуюче зусилля, кН	2,7	3,5	3,5
Мінімальний радіус вигину, діаметрів ОК	20	20	20
Діапазон температур	-40 <sup>0</sup> С – +60 <sup>0</sup> С	-40 <sup>0</sup> С – +60 <sup>0</sup> С	-40 <sup>0</sup> С – +60 <sup>0</sup> С
Ціна, грн. / км	12 916	19 366	21 000

По-перше оберемо тип конструкції ОК: модульної конструкції (ОКМК), або з центральною трубкою (ОКЦТ). Аналіз значень у табл. 2.1 показує, що ОКЦТ має такі переваги:

- дещо менший зовнішній діаметр;
- нижчу масу;
- суттєво меншу вартість.

Перший з цих показників вважатимемо несуттєвим: ОКЦТ має зовнішній діаметр приблизно 10 мм, а ОКМК – 12 мм. Транспортування будівельних довжин приблизно 4,5 км., можна виконувати відповідно на барабанах типу К12 та К14. При цьому діаметр щокі цех барабанів не суттєво відрізняється: 1200 та 1400 мм. Різниця мас також несуттєва: маса будівельної довжини 4 км буде складати 452 та 524 кг відповідно. Тобто, на вантажівці вантажопідйомністю 3 т можна перевозити одночасно 5-6 будівельних довжин.

Кабель конструкції ОКМК також має переваги:

- суттєво вищу міцність;
- меншу вірогідність помилок при зварюванні ОВ та у технічному обліку, що пояснюється укладкою ОВ однакового кольору у модулях різного кольору.

Таким чином, треба обрати або дешевший, або більш міцний кабель при інших приблизно рівних параметрах. Для вибору врахуємо, що траса прокладання проходить по гірській місцевості з великими перепадами висоти. Прокладка ОК потребує у даному випадку додаткових механічних зусиль. Тому у даному випадку надаємо перевагу ОКМК.

Остаточо обираємо кабель виробника ПАТ «Одескабель» ОКЛБГ-4-ДА(2,7)П-6х4Е1-0,36Ф3,5/0,22Н18-8/0 (надалі – ОКЛБГ24).

Визначимо довжину кабелю. Згідно попередніх розрахунків (табл. 1.8) загальна довжина лінії вздовж автомобільних доріг складає 526 км. На даній відстані вирішено використовувати магістральний кабель ОКЛБГ24. Втім, КНД передбачає розрахунок запасів ОК:

- на викладку у траншеї чи кабельної каналізації 1-5% від довжини;
- запас на монтаж у котловані – не менше 10-12 м з обох боків;
- запас на монтаж у колодязі кабельної каналізації – не менше 8 м з обох боків.

Оскільки даний проект є ескізним, коли значна кількість відстаней відома лише приблизно, тому треба визначати запас не тільки на викладку, але й не неточності визначення довжини траншей, введів у приміщення вузлів та ін. Тому обираємо підвищений коефіцієнт до 10%.

Тоді плановане замовлення кабелю для будівництва лінії (що не включає складських запасів на можливий ремонт!) становитиме:  $509,9 \cdot 1,1 = 560,9$  км.

## **2.2 Обґрунтування вибору оптичних муфт та ODF**

Важливі компоненти ЛКС оптичні муфти та оптичні бокси/панелі/криси (ODF) на даний час в Україні не виробляються. Серед закордонних виробників назвемо лише де які: ОРТOKON (Чеська республіка); Reichle & De-Massari (R&M, Швейцарія); Tусо Electronics Raychem N.V. (Raychem, Бельгія); Ericsson (Швеція). Продукція цих виробників має приблизно однакові техніко-експлуатаційні параметри. Тому при виборі джерела постачання краще орієнтуватись на вітчизняні торгівельні підприємства. Останні будемо обирати за наступними критеріями:

- наявність договірних відносин з кількома виробництвами та сертифікатів від них;

– наявність розвиненої логістичної структури (філіали у різних регіонах або налагоджена система он-лайн замовлень та продажів);

– наявність складських запасів необхідного сортаменту комплектуючих.

Цим критеріям в певній мірі відповідають компанії E-SERVER (м. Київ) [29] та DEPS (центральный офіс у м. Київ, філіали у м. Львів, м. Харків та у м. Одеса). Перша з них спеціалізується на роздрібних он-лайн продажах і має політику відкритих цін. Друга в основному займається оптовими продажами. Відповідно, ціноутворення у компанії DEPS відбувається при комплектації оптового замовлення і, зрозуміло, кінцева вартість залежить від об'єму замовлення. Тому для розрахунку ескізного кошторису будемо орієнтуватись на прейскуранти компанії E-SERVER, а замовляти комплектуючі запропонуємо у компанії DEPS (оптові ціни будуть, свідомо, меншими за роздрібні).

Із розрахунків у п. 2.1 витікає, що реалізація проекту потребує використання прохідних оптичних муфт (ОПМ) з можливою кількістю зварювань від 24 ОВ та портами для введення ОК не менш як з двох напрямків (надалі – ОПМ24).

Згідно завдання частина ОВ здається в оренду або продається. Тому на вузлах треба врахувати можливість комутації 48 ОВ на панелях ODF (надалі – ODF48)

В результаті пошуку у мережі Інтернет обрано ОПМ24 та ODF48, які показано на рис. 2.2 та 2.3.

Зауважимо, що оптичні муфти та ODF у даному випадку обрано в повній комплектації (зборі) для монтажу, тобто ціна включає вартість слайд-касет, термоусадок для кабельних введів, необхідної кількості оптичних пігтейлів та конекторів.

Найбільш важливі для даного проекту характеристики та параметри цих компонентів ЛКС наведено у табл. 2.2.

Для приблизного розрахунку кількості ОПМ24 умовно візьмемо, що середня довжина будівельної ділянки складає 3,5 км. Тоді таких ділянок на лінії буде приблизно  $509,9 / 3,5 \approx 145$ . Відповідно, кількість ОПМ24 складатиме 145.

Звісно, ці результати треба уточнювати на етапі розробки робочого проекту.



Рисунок 2.2 – Оптична муфта Crosver FOSC-TB400/24-1-24



Рисунок 2.3 – ODF (оптичні панелі/криси) Line-2U FC-48 в зборі

Також зауважимо, що обрані ODF мають дуплексні роз'єми типу FC або LC. Тому зручно проектувати окремі лінії та зварки парами оптичних волокон. Таке проектування є доцільним з точки зору наочності технічної документації, але, нажаль, не передбачено на даний час у КНД. У даному проекті елементом проектних рішень буде пара ОВ (ОП).

Нумерацію ОП будемо здійснювати за таким принципом: номер першої ОП – 1, перша ОП включає ОВ з номерами 1 та 2; номер другої ОП – 2, друга ОП включає ОВ з номерами 3 та 4 і т. д; а взагалі:

Номер ОП = Номер парного ОВ в цій парі, поділений на 2.

Кольорове кодування ОП відповідає кольору непарного ОВ у даній парі.

### 2.3 Обґрунтування вибору комутуючого обладнання

Вибір телекомунікаційного та іншого обладнання суттєво залежить від призначення того чи іншого вузла зв'язку. Найбільш дешевий варіант – транзитний вузол.

Для забезпечення гнучкості маршрутизації каналів WDM на проміжних ОРП треба встановлювати керовані комутатори не менш як з 36 портами для встановлення SFP модулів (рис. 1.2). Цим умовам задовольняє, наприклад комутатор HP 5900 Series JC772A 48-port (5900AF-48XG-4QSFP). Даний комутатор має 48 портів для встановлення SFP модулів зі швидкістю передачі до 10 Гбіт/с, а також 4 SFP модуля зі швидкістю передачі до 40 Гбіт/с (рис. 2.4).

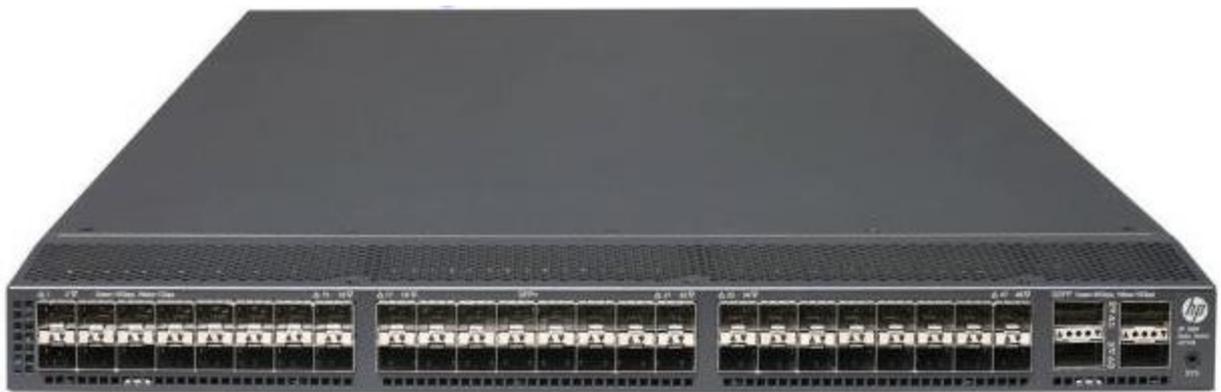


Рисунок 2.4 – комутатор HP 5900 Series JC772A 48-port (5900AF-48XG-4QSFP)

Зауважимо, що даний комутатор за характеристиками швидкості передачі портів дещо перевищує попередні розрахунки для 1 Гбіт/с. Даний запас швидкості дозволяє використовувати дане обладнання у разі необхідності та технічної можливості переходу на більш сучасні технології. Наприклад, використовувати порти 40 Гбіт/с для організації каналів за технологією WDM.

## 2.4 Волоконно-оптичні підсилювачі EDFA

Оптичні підсилювачі є критичною технологією для оптичних мереж зв'язку, що дозволяє передавати багато терабітів даних на відстані від декількох сотень до тисяч кілометрів шляхом подолання обмеження втрат волокон. Як перший оптичний підсилювач, який зазвичай використовується в оптичних системах зв'язку, EDFA призвів до різкого зростання пропускної здатності з розгортанням систем WDM. Будучи оснащеними особливостями високої вихідної потужності, високим коефіцієнтом посилення, широкою пропускною здатністю, незалежністю від поляризації та низьким рівнем шуму, EDFA стали одним із ключових компонентів, використовуваних в оптичній системі зв'язку нового покоління.

Підсилювач волокон, легований ербієм (EDFA) – оптичний ретранслятор, який використовується для підвищення інтенсивності оптичних сигналів, що передаються через волоконно-оптичну систему зв'язку. Оптичне волокно леговане рідкісноземельним елементом ербію, щоб скловолокно могло поглинати світло з однією частотою і випромінювати світло на іншій частоті.

Ербієво-леговане волокно (EDF) лежить в основі технології EDFA, що є звичайним силікатним волокном, легованим Erbium. Коли Ербій освітлюється енергією світла на відповідній довжині хвилі (або 980 нм, або 1480 нм), він мотивується до проміжного стану тривалої експлуатації, тоді він занепадає до основного стану, випромінюючи світло в межах 1525-1565 нм. . Ербій може бути накачаний світлом 980 нм, і в цьому випадку він проходить через нестабільний стан короткого терміну експлуатації перед швидким розпадом до квазістабільного стану, або світлом 1480 нм, і в цьому випадку він безпосередньо збуджується до квазістабільного стану . Опинившись у квазістабільному стані, він занепадає до основного стану, випромінюючи світло в смузі 1525-1565 нм. Цей процес розпаду може бути стимульований наявним світлом, що призводить до посилення.

Підсилювачі EDFA існують різних видів і можуть використовуватися порізно в залежності від обраної області і коефіцієнта посилення а саме:

– у режимі насичення – як підсилювач потужності (бустер) відразу після випромінювача. Бустер підвищує потужність сигналу до рівня, який не може бути досягнутий на основі лазерного діода, що дозволяє максимально збільшити відстань до наступного підсилювача;

– у режимі проміжних значень посилення і шуму – як лінійний підсилювач. Лінійні підсилювачі встановлюються в проміжних точках протяжних ліній зв'язку або на виході оптичних розгалужувачів з метою компенсації ослаблення сигналу. Вони замінюють оптоелектронні повторювачі і регенератори в тих випадках, коли немає необхідності в точному відновленні сигналу;

– у режимі найменшого шуму – як підсилювач перед приймачем. Передпідсилювач підвищує потужність слабого сигналу в кінці лінії зв'язку. Передпідсилювач практично завжди використовується разом з вузькосмуговим фільтром.

Принцип роботи підсилювачів EDFA заснований на явищі посилення світла при вимушеному випромінюванні (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Це те ж саме явище, яке забезпечує виникнення генерації в лазерах і, здавалося б, власне кажучи, дало їм назву (слово LASER це і є аббревіатура вищенаведеної фрази). Можливість посилення світла в світловодах, легованих іонами ербію, обумовлюється схемою рівнів енергії даного рідкоземельного елемента.

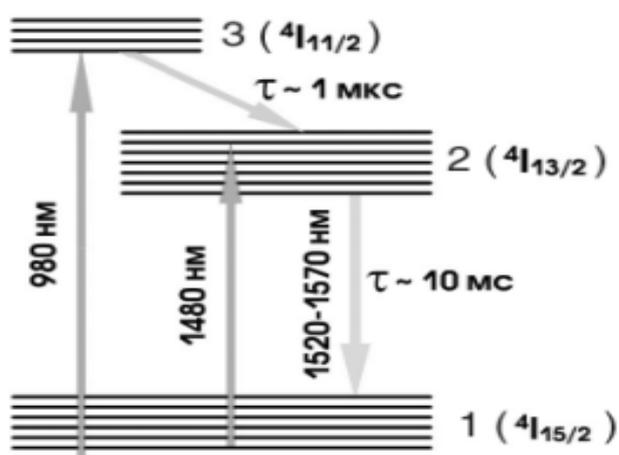


Рисунок 2.5 – Спрощена схема рівнів енергії іонів ербію ( $3 \text{ Er}^+$ ) в кварцовому склі

Посилення світла в ербієвому підсилювачі відбувається завдяки переходу між рівнями  $2 \rightarrow 1$  ( $4 \rightarrow 3$  /  $13 \rightarrow 12$  /  $2 \rightarrow 1$  /  $15 \rightarrow 14$  /  $2 \rightarrow 1$  | |  $\rightarrow$ ). Кожен з цих рівнів розщеплений на ряд підрівнів через взаємодію іонів ербію з внутрішньокристалічним полем кварцового скла (ефект Штарка). Під дією накачування, за рахунок поглинання фотонів накачки, іони ербію переходять з основного стану (рівень 1) в верхній збуджений стан (рівень 3), який є короткоживучим (час життя  $3 \tau = 1$  мкс), і за рахунок процесів релаксації переходять в довгоживучий стан (на метастабільний рівень 2 енергії). Термін метастабільний означає, що час перебування іона ербію на цьому рівні енергії (його також називають часом життя) відносно великий ( $2 \tau = 10$  мс, тобто  $2 \tau / \tau = 10000$ ). Тому число іонів, що знаходяться на рівні 2, при відповідній потужності накачування може перевищувати число іонів на рівні 1. Рівень 1 називається основним станом, тому що за відсутності накачування практично всі іони ербію знаходяться на цьому енергетичному рівні. Частка частинок, що знаходяться на інших рівнях, за відсутності накачування мала. Число іонів в одиниці об'єму, що знаходяться на деякому рівні енергії, називається населеністю цього рівня. У нормальних умовах, тобто за відсутності накачування, населеність основного рівня енергії речовини максимальна, населеність всіх інших рівнів енергії швидко зменшується зі збільшенням енергії рівня. Стан середовища, при якому населеність деякого більш високого рівня енергії іона перевищує населеність деякого нижчого рівня, є дуже незвичайним і отримав назву стану з інверсією населеності рівнів, або, більш коротко, інверсією населеності. Відзначимо, що довжина хвилі і спектр посилення жорстко визначені типом активних іонів. Той факт, що спектр посилення волокна, легованого іонами ербію, збігається з областю мінімальних втрат кварцового оптичного волокна, є вдалим збігом. Не всі іони ербію знаходяться в метастабільному стані і забезпечують посилення. Частина іонів знаходиться на рівні 1 і ці іони, взаємодіючи з фотонами, енергія яких збігається з енергією переходу, ефективно їх поглинають, переходячи на рівень 2. При цьому спектр посилення іонів ербію практично збігається зі спектром поглинання. Якщо кількість іонів, що знаходяться на рівні 2, менше числа іонів, що знаходяться на основному рівні 1,

то спостерігається поглинання. Саме тому необхідною умовою посилення світла є створення інверсії населеності між двома робочими рівнями енергії 2 і 1. Для створення інверсії населеності в ербієвому підсилювачі необхідно перевести приблизно половину іонів ербію на метастабільний рівень 2. Потужність накачування оптичного підсилювача, при якій населеність рівнів 1 і 2 рівні, називається пороговою потужністю.

У міру збільшення потужності накачування все більше активних іонів переходить в збуджений стан. Це призводить спочатку до зменшення коефіцієнта поглинання, а потім до посилення світла. Відзначимо також, що спектр посилення зсунутий в довгохвильову область відносно спектра поглинання. Отже, для посилення в довгохвильовій частині спектра потрібно менше значення інверсії. Точна форма характеристик поглинання та посилення залежить від домішок, доданих до структури скла, які модифікують енергетичну структуру іона. Вибір 37 стекол з низькою енергією фононів, як, наприклад, фторидне скло ZBLAN, дає можливість рідкоземельним іонам мати більш інтенсивну світлову емісію при переході між енергетичними рівнями на довжинах хвиль 1550 нм.

Підсилювальним середовищем підсилювача є ербієве волокно – волоконний світловод з домішками іонів ербію. Виготовляються такі світлопроводи тими ж методами, що і світловоди для передачі інформації, з додаванням проміжної операції просочення не проплавленого матеріалу серцевини розчином солей ербію або легування іонами ербію з газової фази безпосередньо в процесі осадження серцевини. Хвилеводні параметри ербієвого волоконного світловода роблять подібними з параметрами світловодів, використовуваних для передачі інформації, з метою зменшення втрат на з'єднання. Принциповим є вибір легуючих домішок, які формують серцевину активного світловода, а також підбір концентрації іонів ербію. Різні домішки в кварцовому склі змінюють характер штарківського розщеплення рівнів енергії іонів ербію. У свою чергу це призводить до зміни спектрів поглинання і випромінювання.

Для практичного використання в системах волоконно-оптичного зв'язку найбільше значення мають наступні параметри ербієвих підсилювачів:

- коефіцієнт посилення;
- вихідна потужність і енергетична ефективність;
- шум-фактор і потужність посиленого спонтанного випромінювання;
- спектральна смуга і рівномірність смуги посилення.

Важливою характеристикою підсилювача в системах зв'язку зі спектральним розділенням каналів (WDM) є рівномірність коефіцієнта посилення в межах робочого спектрального діапазону. Нерівномірність коефіцієнта посилення слабкого сигналу може перевищувати 10 дБ в межах однієї спектральної смуги. У робочих умовах нерівномірність коефіцієнта посилення зменшується через підвищення сумарної потужності оптичного сигналу. Проте при проходженні в довгій лінії через ряд підсилювачів сумарна неоднорідність посилення може привести до втрати інформації в каналах з меншим посиленням. Таким чином, актуальним є згладжування спектра підсилення. Для цього в схему підсилювача зазвичай вводяться спектрально селективні поглинаючі фільтри на основі як світловодних, так і об'ємних елементів. Одним з популярних видів фільтра є фотоіндукована довгоперіодна решітка (LPG, long-period grating). Такі решітки виготовляють шляхом просторово періодичного опромінення серцевини світловоду ультрафіолетовим випромінюванням через його поверхню. Решітка, період якої, як правило, лежить в діапазоні 0,1 - 1 мм, забезпечує резонансну взаємодію фундаментальної моди з модами оболонки. Наслідком такої взаємодії є перетворення частини енергії основної моди волоконного світловода з резонансною довжиною хвилі в енергію оболонкових мод і швидке загасання цих мод. Спектр і інтенсивність поглинання задаються періодом решітки і часом опромінення світловода. Застосування згладжуючих фільтрів, виготовлених з використанням цієї техніки, дозволяє зменшити варіації коефіцієнта посилення до десятих часток дБ в межах робочого діапазону.

У даній роботі пропонується EDFA підсилювач – CLA PBO1F. Його низька вартість у групі С визначає використовувати його як бюджетне рішення у міських та магістральних системах WDM. Стандартне постачання – підсилювач та підсилювач. Також може постачатися в інших варіантах виконання – з вибором

таких параметрів, як незалежний підсилювач, окремий підсилювач або підсилювач лінії.

EDFA CLA PBO1F – підсилювач має ряд властивостей:

- низька вартість;
- режим незалежної варіації змінних кожного підсилювача;
- моніторинг оптичного вихідного порту;
- резервне джерело живлення додатково 230 В AC або 48 В DC;
- можливість роботи з одним або декількома каналами (CATV/DWDM);
- мікропроцесорна система на базі ОС Linux;
- дистанційне керування та моніторинг усіх важливих параметрів;
- зв'язок за допомогою CLI (SSH), SNMP;
- інтерфейс зв'язку Ethernet, RS232, USB.

### 3 ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ПІДСИЛЮВАЛЬНОЇ ДІЛЯНКИ ТА ПОБУДОВА СКЕЛЕТНОЇ СХЕМИ ВОЛЗ

#### 3.1 Розрахунок довжини підсилювальної ділянки

По 32-му оптичному каналу з центральною довжиною хвилі  $\lambda_k=1,553\text{нм}$  ( $f_k=193,0\cdot 10^{12}\text{Гц}$ ) планується передавати оптичний цифровий сигнал STM16 із швидкістю  $V_k=2,5\text{ Гбіт/с}$ . У цьому ж ОМОВ типу – NZDSF передаватимуться всього 32 потоки по 2,5 Гбіт/с кожен на відстань близько 510км. Кожному цифровому потоку виділяються оптичні канали сітки частот спектром по 110 ГГц.

Для розрахунку допустимого значення загасання на підсилювальній ділянці  $[aL_{i\alpha}]$  за формулою (3.1) вибираємо наступні параметри:  $a_{\text{роз}}=0,2\text{ дБ}$ ;  $a_{\text{вв}}=0,1\text{ дБ}$ ;  $p_p=6\text{ дБ}$ ;  $K_{\text{ш}}=5,5\text{ дБ}$ ;  $\alpha=0,22\text{ дБ/км}$ ;  $[c/u]=20\text{ дБ}$ ; будівельну довжину ОК, рівну 4 км; ПОМ з шириною спектру випромінювання  $\Delta\lambda_{\text{нк}}=0,3\text{ нм}$  ( $\Delta f_{\text{нк}}=37,4\text{ ГГц}$ ); спектр інформаційного сигналу  $\Delta F\approx 1,2\cdot V=3,0\text{ ГГц}$ . Отже спектр оптичного сигналу в кожному оптичному каналі при цьому рівний  $\Delta f_k = \Delta f_{\text{нк}} + 2\Delta f_k = 40,4\text{ ГГц}$ .

За (рис.3.1) визначаємо максимально допустиму потужність на передачі на канал, обмежена чотирехвильовим змішуванням в NZDSF ОМОВ при числі каналів, рівному 32 (штрихова лінія), і при дальності передавання приблизно 510 км.

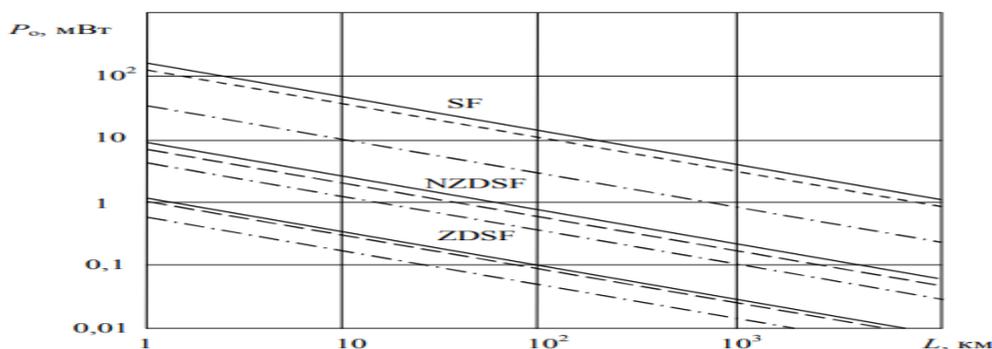


Рисунок 3.1 – Максимальна допустима потужність для одного оптичного каналу в залежності від довжини лінії при мультиплексуванні одномодових ОПТИЧНИХ ВОЛОКОН

Цьому відповідає  $P_{\text{мд}} \approx 0,45$  мВт ( $p_{\text{мд}} \approx -3,47$  дБм).

Підставивши вищевказані чисельні значення у формулу (4.1), отримано:

$$[L_{ia}] = \frac{1}{0,22} \left( -3,47 - 2 \cdot 0,2 - 0,1 \cdot S - 6 - 10 \lg \frac{2\pi \cdot 10^{-24} \cdot 193,0 \cdot 10^{12}}{10^{-3}} - 10 \lg 40,4 \cdot 10^9 - 5,5 - 20 - 10 \lg N \right) = \frac{1}{0,22} (17,2 - 0,1 \cdot S - 10 \lg N) \quad (3.2)$$

В залежності від числа  $N$  ВОП, а також числа зварних з'єднань волокон  $S$  розраховуємо допустимі значення загасань  $[aL_{ia}]$  в межах підсилювальних ділянок  $L_{\text{пд}}$ .

Нехай  $S=0$ , а  $N=1$ , то:

$$[aL_{ia}] = 17,7 - 10 \lg 1 = 17,7 \text{ дБ} \cdot \text{км.}$$

$$L_{ia} = \frac{[aL_{ia}]}{a} = \frac{17,7}{0,22} = 80,5 \text{ км.}$$

Тоді:

$$S = \frac{L_{ia}}{l_{aia}} = \frac{80,5}{4} = 20$$

$$[aL_{ia}] = 17,7 - 0,1 \cdot 20 = 15,7 \text{ дБ} \cdot \text{км}$$

$$L_{ia} = \frac{15,7}{0,22} = 71,3 \text{ км.}$$

Нехай  $S=0$ , а  $N=2$ , то:

$$[aL_{ia}] = 17,7 - 10 \lg 2 = 14,7 \text{ дБ} \cdot \text{км.}$$

$$L_{ia} = \frac{[aL_{ia}]}{a} = \frac{14,7}{0,22} = 66,8 \text{ км.}$$

Тоді:

$$S = \frac{L_{ia}}{l_{aia}} = \frac{66,8}{4} = 17$$

$$[aL_{ia}] = 14,7 - 0,1 \cdot 17 = 13 \text{ дБ} \cdot \text{км}$$

$$L_{ia} = \frac{13}{0,22} = 59 \text{ км.}$$

Нехай  $S=0$ , а  $N=10$ , то:

$$[aL_{ia}] = 17,7 - 10 \lg 10 = 7,7 \text{Дб} \cdot \text{км.}$$

$$L_{ia} = \frac{[aL_{ia}]}{a} = \frac{7,7}{0,22} = 35 \text{км.}$$

Тоді:

$$S = \frac{L_{ia}}{l_{aia}} = \frac{35}{4} = 9$$

$$[aL_{ia}] = 7,7 - 0,1 \cdot 9 = 6,8 \text{Дб} \cdot \text{км}$$

$$L_{ia} = \frac{6,8}{0,22} = 31 \text{км.}$$

Нехай  $S=0$ , а  $N=20$ , то:

$$[aL_{ia}] = 17,7 - 10 \lg 20 = 4,7 \text{Дб} \cdot \text{км.}$$

$$L_{ia} = \frac{[aL_{ia}]}{a} = \frac{4,7}{0,22} = 21,4 \text{км.}$$

Тоді:

$$S = \frac{L_{ia}}{l_{aia}} = \frac{21,4}{4} = 5$$

$$[aL_{ia}] = 4,7 - 0,1 \cdot 5 = 4,2 \text{Дб} \cdot \text{км}$$

$$L_{ia} = \frac{4,2}{0,22} = 19 \text{км.}$$

Результати розрахунків представлені на (рис. 3.2)

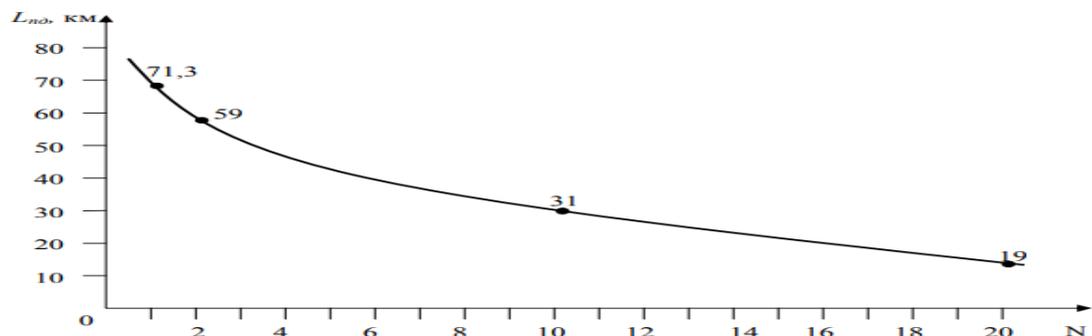


Рисунок 3.2 – Залежність довжини підсилювальної ділянки  $L_{нд}$  від числа  $N$  каскадно-ввімкнених ВОП на довжині регенераційної ділянки

### 3.2 Визначення довжини регенераційної ділянки за дисперсією

Довжина регенераційної ділянки ВОСП обмежується двома факторами: загасанням і дисперсією оптичних імпульсів в лінійному тракті. При проектуванні необхідно виконати два розрахунки і в якості довжини ділянки регенерації вибрати менше із отриманих значень.

Енергетичний потенціал апаратури ВОСП дорівнює різниці рівнів потужності оптичного сигналу на передачі  $P_{\text{пер}}$  (дБм) і прийомі  $P_{\text{пр}}$  (дБм), при якому забезпечується задана якість передачі інформації [3]:

$$\text{ЕП} = P_{\text{пер}} - P_{\text{пр}}, \quad (3.2)$$

де ЕП – енергетичний потенціал ВОСП, дБ;

$P_{\text{пер}}$ ,  $P_{\text{пр}}$  – рівень потужності оптичного сигналу на виході джерела випромінювання та на вході приймального оптичного модуля при якому коефіцієнт помилок або ймовірність помилок одиничного регенератора не перевищує заданого значення, дБп.

Для вибраної апаратури ВОСП типу STM-16 ЕП має наступне значення:

$$\text{ЕП} = 2 - (-29,5) = 31,5 \text{ дБ.}$$

Оптична потужність на приймальній стороні залежить від наступних факторів:

- 1 Рівня потужності джерела випромінювання  $P_{\text{дв}}$  дБп;
- 2 Втрат потужності в роз'ємних з'єднаннях на стиках джерело випромінювання-волокно  $\alpha_{\text{дв}}$  і волокно-приймач випромінювання  $\alpha_{\text{вп}}$  (дБ);
- 3 Втрат потужності в нероз'ємних з'єднаннях типу волокно-волокно  $\alpha_{\text{вв}}$  (дБ) при стикуванні будівельних довжин оптичного кабелю  $l_0$  (км) між собою;
- 4 Втрат потужності внаслідок загасання світла в ОВ з коефіцієнтом загасання  $\alpha$  (дБ/км);
- 5 Експлуатаційного запасу за потужністю  $\alpha_3$  (дБ).

Максимальна довжина ділянки регенерації по затуханню визначається за формулою [8]:

$$L_{P1\max} = \frac{EP - \alpha_3 - 2 \cdot \alpha_{\text{ДВ}} + \alpha_{\text{ВВ}} - 2 \cdot \alpha_{\text{ВП}}}{\alpha + \frac{\alpha_{\text{ВВ}}}{l_6}} \quad (3.3)$$

Мінімальна довжина ділянки регенерації по загасанню з АРП визначається за формулою [8]:

$$L_{P1\min} = \frac{EP - A - \alpha_3 - 2 \cdot \alpha_{\text{ДВ}} + \alpha_{\text{ВВ}} - 2 \cdot \alpha_{\text{ВП}}}{\alpha + \frac{\alpha_{\text{ВВ}}}{l_6}} \quad (3.4)$$

де  $A$  – діапазон АРП приймальної частини апаратури (ПРОМ), дБ;

$\alpha_3$  – експлуатаційний або апаратурний запас, дорівнює 6 дБ;

$\alpha_{\text{ДВ}}$  – втрати на роз'ємних з'єднаннях, при обраному способі узгодження ДВ та ОВ складають 0,5 дБ;

$\alpha_{\text{ВП}}$  – втрати на роз'ємних з'єднаннях, при обраному способі узгодження ОВ та ПРОМ складають 0,5 дБ;

$\alpha$  – коефіцієнт затухання волокна, складає 0,3 дБ/км;

$l_6$  – будівельна довжина кабелю, беремо рівною 4 км;

$\alpha_{\text{ВВ}}$  – втрати на стику будівельних довжин, оскільки використовується метод зварювання, то ця величина буде дорівнювати 0,1 дБ;

Максимальна довжина ділянки регенерації по затуханню визначається за формулою (3.3):

– для волокон зі зміщеною ненульовою дисперсією (для перспективи)

$$L_{P1\max} = \frac{31,5 - 6 - 2 \cdot 0,5 + 0,1 - 2 \cdot 0,5}{0,35 + \frac{0,1}{4}} = 62,9 \text{ км.}$$

Мінімальна довжина ділянки регенерації по затуханню визначається за формулою (3.4):

– для волокон зі зміщеною ненульовою дисперсією (для перспективи)

$$L_{p1min} = \frac{31,5 - 15 - 6 - 2 \cdot 0,5 + 0,1 - 2 \cdot 0,5}{0,35 + \frac{0,1}{4}} = 23 \text{ км.}$$

Відомо, що впливом збільшення тривалості імпульсів можна знехтувати практично для всіх форм, використаних для передачі імпульсів, якщо виконується відношення [8]:

$$B \leq \frac{0,25}{\sigma} . \quad (3.5)$$

Із цього відношення слідує, що довжина регенераційної ділянки  $L_{p2}$ , обмежена дисперсією сигналів в ОВ, не повинна перевищувати:

$$L_{p2} \leq \frac{0,25}{\sigma_{xp} \cdot B_{л}} , \quad (3.6)$$

де  $B_{л}$  – лінійна швидкість передачі апаратури, біт/с;

$\sigma_{xp}$  – погонна хроматична дисперсія, яка може бути розрахована за формулою:

$$\sigma_{xp} = M_{xp} \cdot \Delta\lambda , \quad (3.7)$$

де  $\Delta\lambda$  – ширина спектральної лінії джерела випромінювання,  $\Delta\lambda = 0,1$  нм;

$M_{xp}$  – питома хроматична дисперсія, пс/нм·км.

Розрахуємо довжину регенераційної ділянки  $L_{p2}$  обмежену дисперсією сигналів в ОВ за (3.6):

– для волокон зі зміщеною ненульовою дисперсією (для перспективи)

$$L_{p2} \leq \frac{0,25}{0,6 \cdot 10^{-12} \cdot 2488,32 \cdot 10^6} = 167,4 \text{ км.}$$

Так як максимальна довжина регенераційної ділянки по дисперсії і загасанню неоднозначні, то треба вибрати найменшу з них.

Таким чином, можна визначити розташування проміжних пунктів НРП та ОРП вздовж траси ВОЛП. Будь-яка секція регенерації ВОСП повинна знаходитися в межах:

– для волокон зі зміщеною ненульовою дисперсією (для WDM)

$$23 \text{ км} < L_{\text{ЕКД}} < 167,4 \text{ км.}$$

Проміжні пункти обираємо за критеріями:

- задоволення нерівності (3.6);
- розташування ОРП у районних містах (НРП) з відносно великим населенням;
- мінімізації або прийнятної кількості і вартості каналоутворюючого обладнання, компонентів та матеріалів;
- можливості підключення до електромереж.

З урахуванням цих критеріїв обрано проміжні НРП: Стрий, Дрогобич, Самбір Яворів, Червоноград, Золочів. Основні параметри структури лінії дано у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Основні параметри волоконно-оптичної лінії

Ділянка	<i>LPД,км</i>
Львів - Стрий	67
Стрий - Дрогобич	29
Дрогобич - Самбір	32,8
Самбір - Яворів	89
Яворів - Червоноград	99,4
Червоноград-Золочів	125,5
Золочів - Львів	67,2
<b>Всього</b>	<b>509,9</b>

Схематично структура волоконно-оптичної лінії Львівської області показана на рис. 3.3.

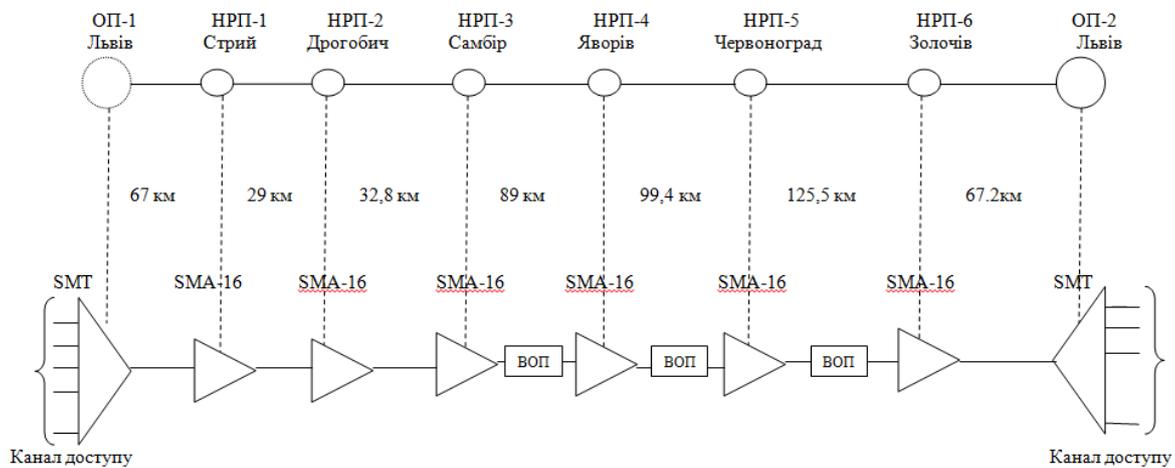


Рисунок 3.3 – Схема організації зв'язку ВОЛЗ

## 4 ВИРІШЕННЯ НАЙВАЖЛИВИХ СКЛАДОВИХ КОМПЛЕКСНОЇ ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ ВУЗЛІВ ТА ЛІНІЙ ПЕРЕДАЧІ ВОСП

### 4.1 Організація будівництва лінійно-кабельних споруд

#### 4.1.1 Визначення геологічних особливостей траси прокладання кабелю

Способи прокладання ОК суттєво залежать від геологічних особливостей того чи іншого регіону. Для вирішення задач проектування слід врахувати:

- особливості ґрунтів, що включає визначення характерних значень питомого опору а також структури – глибини залягання верхніх та нижніх прошарків;
- характеристики інтенсивності грозової діяльності;
- характеристики ґрунтів з точки зору складності розробки траншей для прокладання кабелю.

У цими показниками Львівська область є дуже різноманітною у різних частинах. Уявлення може дати фрагмент карти геологічної будови області (рис. 4.1).

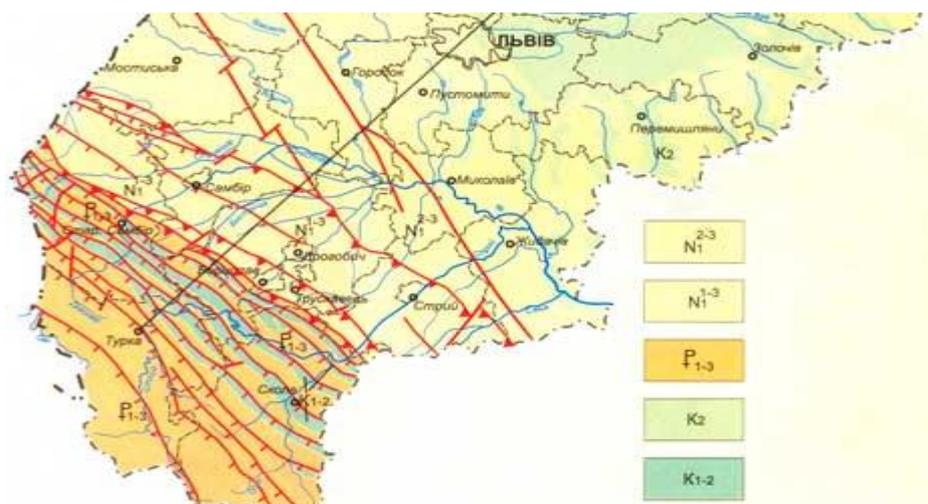


Рисунок 4.1 – Геологічні будови Львівської області

З цього рисунку видно, що типові геологічні зони поступово змінюються в напрямку від Львова до Самбірського, Дрогобицького та Стрийського районів.

Найбільш складні умови прокладання кабелю складаються приблизно на 1/3 траси у гірських районах, де водночас:

- є досить великі перепади висот;
- складний ґрунт для розробки траншей;
- можливий високий питомий опір ґрунту – до 1000-1500 Ом/м;
- місцевості з високою грозовою активністю: у районі м. Стрий середня щорічна кількість ударів блискавки сягає 93,71, а середня щільність ударів блискавки на км<sup>2</sup> складає 6,3.

У Самбірському районі з центром у м. Самбір приблизно 60% займає гірська місцевість.

Ліси на Львівщині займають до 31,8% площі. При цьому щільність лісів найвища у гірських районах.

#### **4.1.2 Визначення способів та обсягу робіт щодо прокладання кабелю**

Вимоги до прокладання ОК в різних умовах наведено у КНД . Наведемо лише ті з них, які є суттєвими для даного проекту. Для цього на етапі попереднього проектування будемо вважати, що у населених пунктах прокладання ОК здійснюється у існуючій кабельній каналізації. Вздовж автомобільних доріг згідно умов прокладання:

- до 85% прокладання вздовж автомобільних шляхів здійснюється кабелеукладачами (механізованим способом) у разі можливості використання кабелеукладачів – глибина прокладання 1,2 м;
- до 10% розробка траншей здійснюється екскаваторами, а прокладання ручним способом – глибина прокладання 1,2 м;;
- до 5% як розробка траншей, так і прокладання вздовж автомобільних шляхів здійснюється ручним способом в умовах кам'янистих ґрунтів (VI –V категорії) та зі значними перепадами висот – глибина прокладання 0,8 м.

У населених пунктах основні методи прокладання ОК по опорам ліній електропередачі та у кабельній каналізації. Згідно Завдання умовно вважаємо, що у населених пунктах використовується другий спосіб.

Прокладання кабелю кабелеукладачем є найбільш ефективним як з точки зору мінімізації термінів, так і з точки зору мінімізації вартості робіт. Даний метод передбачає як розробку траншеї, так і прокладання ОК і захисного тросу.

При ручному способі прокладання використовуються кирки, лопати, а де можливо – відбійні молотки, втім такий метод є вартісним і не дуже швидкісним. Окрім того, є необхідність додаткових робіт: розробки траншей для прокладання кабелю та котлованів для монтажу муфт, прокладки захисних тросів вручну, засипки цих траншей та котлованів. У визначених умовах на дно траншей треба насипати пісок чи м'який ґрунт товщиною не менш 0,1 м, зверху прокладеного кабелю насипати шар ґрунту 0,3 м, поверх нього прокласти захисний трос, а вже після цього закопувати траншею.

Визначимо об'єм ручних робіт. Траншея шириною 0,5 м (мінімальна ширина, що дозволяє виконувати роботи по прокладанню кабелю) у важкому ґрунті має переріз  $0,8 \times 0,5 = 0,4 \text{ м}^2$ . Тобто, на погонний метр траси треба вибрати  $0,4 \text{ м}^3$  ґрунту, а потім його ж повернути на місце. На відстані 11,68 км обсяг робіт складатиме  $4670 \text{ м}^3$ .

Піску треба засипати:  $0,1 \times 0,5 \times 1 = 0,05$  на кожний погонний метр. На відстані 11,68 км об'єм робіт:  $583 \text{ м}^3$ .

Траншеї у ґрунтах до V категорії, що розробляються екскаватором, згідно КНД [13] повинні мати не менше 1,2 м глибини та 0,5 м ширини. Тобто, переріз траншеї матиме площу  $1,2 \times 0,6 = 0,6 \text{ м}^2$ , а погонний метр матиме об'єм  $0,6 \text{ м}^3$ . Таким чином, за допомогою екскаватора треба виконати обсяг робіт  $14010 \text{ м}^3$ .

## **4.2 Облаштування телекомунікаційних вузлів (ОРП/НРП)**

### **4.2.1 Визначення типів телекомунікаційних вузлів**

Як відомо, телекомунікаційні вузли, що виконують функції регенерації сигналів та маршрутизації трафіку можуть бути такими, що обслуговуються (ОРП) або такими, що не обслуговуються.

У даному проекті будемо вважати, що обладнання Оператора розміщується на технологічних площадках інших операторів на умовах суборенди. Обслуговування здійснюється виїзними бригадами/спеціалістами.

Електропостачання забезпечує орендатор, а резервування електроживлення Оператор забезпечує самостійно.

Також передбачаємо, що Оператору надається можливість підключення до шини контуру заземлення та послуги кондиціювання приміщення, що входить до суми витрат на експлуатацію.

За використану електроенергію Оператор сплачує індивідуально згідно діючих тарифів та показників лічильника електроенергії.

#### **4.2.2 Додаткове обладнання та устаткування вузлів ВОСП**

Згідно з КНД кінцеві та проміжні вузли (НУП або ОУП) обладнаються, як мінімум, наступними пристроями та конструкціями (рис.4.2):

- введення лінійного кабелю у приміщення вузла;
- комплектуючі для з'єднання ОВ лінійного кабелю;
- кабельрост;
- заземлення та ін.

Телекомунікаційне та комутаційне обладнання у приміщеннях вузлів розміщується у телекомунікаційних стійках або шафах, ширина яких зазвичай становить 19". Оскільки вартість проекту дуже значна, а у приміщеннях вузлів може знаходитись персонал аварійних бригад, який може тимчасово забруднювати підлогу, то логічно розміщувати обладнання саме у закритих шафах. З урахуванням можливого розвитку для розміщення та монтажу обладнання обираємо конструктив з певним запасом по висоті, наприклад, серверні шафи підлогові 24U-600x600 AL-FDR24U-66G.

#### **4.2.3 Організація електропостачання та електроживлення**

Для визначення параметрів електропостачання та електроживлення треба врахувати сумарне навантаження пристроїв та обладнання, яке залежить від

комплектації вузла ВОСП. У даному проекті передбачено, що на вузлах з активного обладнання встановлюються лише два комутатори сумарним споживанням до 300 – 600 Вт. В розрахунку на розвиток вважаємо, що на етапі будівництва ВОСП достатньо обмежитись споживчою потужністю до 1 кВт.

Такі параметри задовольняє, наприклад джерело безперебійного живлення (ДБЖ) LUXEON UPS-3000ZX з вихідною потужністю 1800 Вт, можливістю підключення зовнішніх АКБ .

Для розрахунку складу комплекту акумуляторних батарей (АКБ) визначимо запас споживчої критичної потужності 50%, тобто загалом треба резервувати 300 Вт потужності. Час резервування визначимо у такій ситуації: з'ясування причин та термінів усунення аварії – до однієї години; підготовка до виїзду та прямування до віддаленого вузла (до 100 км) з урахуванням проїзду по населених пунктах та у «пробках» – до двох годин; розгортання живлення від генератора – до 0,5 години; непередбачувані витрати часу – 1,0-1,5 години. Загалом 5 годин.

Для визначення ємності АКБ сумарною напругою 48В для підтримки обладнання споживчою потужністю 300 Вт на протязі 5 годин та за умови типового значення коефіцієнта корисної дії інверторів ДБЖ 80% скористуємось он-лайн калькулятором. Отримаємо: ємність АКБ повинна складати 40 Ампер-годин . З міркувань техніки безпеки обираємо герметичні АКБ. в кількості 4-х напругою 12 В кожна. Серед варіантів за показником ціна/вартість обираємо гелеву АКБ LOGICPOWER LPM-GL 12V 40AH.

Для організації електропостачання орендатор може надати умови встановлення лічильників електроенергії, прокладання силового кабелю та ін., що також необхідно враховувати при визначенні вартості реалізації проекту.

## 5 ТЕХНІКО – ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

### 5.1 Розрахунок капітальних витрат на розробку

Капітальні витрати на розробку становлять:

$$K=K1+K2 \quad (5.1)$$

де: K1– витрати на розробку, грн.;

K2– витрати на налагодження і дослідну експлуатацію програмного засобу на ПК, грн.;

### 5.2 Складові структури витрат на розробку

Складові структури витрат на розробку та реалізацію розробки розраховуються за формулою:

$$K1=Zz+Nz +Vi, \quad (5.2)$$

де: Zz – загальна зарплата розробників, грн;

Nz – нарахування на зарплату, грн;

Vi – інші витрати, грн;

Для проведення розрахунків зарплати (Zz) необхідно визначити спеціальність робітників, чисельність робітників і трудомісткість цих робіт. Для розробки проектного рішення потрібно чотири спеціалісти розробники:

- Керівник проекту(K);
- Студент-дипломник(СД);
- Консультант з економічне ї частини(КЕ);
- Консультант з охорони праці(КОП);

Згідно з штатним розписом сума витрат на оплату праці робітників, з 01.01.2025р. складає:

- Керівник (викладач вищої категорії) – 107,93 грн/год;
- Консультант з економічної частини (викладач вищої категорії) – 107,93 грн/год;

- Консультант з охорони праці(викладач першої категорії) 93,70 грн/год;

- Час витрачений керівником –  $t_k = 14$  годин.

- Час витрачений консультантом з охорони праці –  $t_{ko} = 1$  година.

- Час витрачений консультантом з економічної частини –  $t_{ke} = 1$  година.

- Час витрачений студентом дипломником  $t_s = 3 \times 50 = 150$  годин.

Витрати на оплату праці керівника проекту:

$S_k = 14 \text{ роб.год.} \times 107,93 \text{ грн.год.} = 1511,02 \text{ грн.}$

Витрати на оплату праці консультанта з економічної частини:

$S_{ke} = 1 \text{ роб.год.} \times 107,93 \text{ грн.год.} = 107,93 \text{ грн.}$

Витрати на оплату праці консультанта з охорони праці :

$S_{ko} = 1 \text{ роб.год} \times 93,70 \text{ грн.год.} = 93,70 \text{ грн.}$

Денна оплата студента дипломника :

$1510/173 = 8,73 \text{ грн.}$

1510 – стипендія

173 – місячний фонд робочого часу, годин.

Витрати на оплату праці студента дипломника

$S_s = 8,73 \times 150 = 1310 \text{ грн.}$

Витрати на оплату праці робітників проекту становлять

$Z_z = S_k + S_{ke} + S_{ko} + S_s = 1511,02 + 107,93 + 93,70 + 1310 = 3022,65 \text{ грн.}$

Нарахування на зарплату визначаються в розмірі 22% від фонду оплати праці

$N_z = Z_z \times 22\% = (3022,65 \times 22)/100 = 664,98 \text{ грн.}$

де 22 – норматив нарахування на зарплату, %

Інші витрати  $V_i$  відображають витрати які, не враховані в попередніх статтях витрат. Ці витрати розраховуються згідно структури витрат(5%)

$$V_i = 0.05 \times (Z_3 + H_3) = 0.05 \times (3022,65 + 664,98) = 1843,93 \text{ грн.}$$

$$K_1 = Z_3 + H_3 + V_i = 3022,65 + 664,98 + 1843,93 = 5578,56 \text{ грн.}$$

### 5.3 Витрати на відлагодження розробки

Витрати на від лагодження та дослідну експлуатацію розробки

$$K_2 = S_{M-г.} \times t \quad (5.3)$$

де  $S_{M-г.}$  – вартість однієї машино-години роботи конкретно ПК, грн./год.;  
 $t$  – машинний час, витрачений на накладку та дослідну експлуатацію програмного засобу, год.

Вартість 1 машинно-години роботи ПК розраховуємо за складовими витрат на таку роботу:

$$S_{M-г.} = (A + E_n) / \Phi_d \quad (5.4)$$

де  $A$  – амортизація використаного ПК, грн;

$E_n$  – вартість електроенергії, яку споживає ПК, грн.;

$\Phi_d$  – дійсний час від лагодження програми, год.;

Розрахунок складових вартості 1 машино-години роботи ПК:

а) амортизація ПК становить

$$A = (K_T \times N_a) / 100 = (670,31 \times 15\%) / 100 = 100,55 \text{ грн.}$$

Де  $K_T$  – вартість використання ПК, грн..

$N_a$  – норма амортизації ( $N_a = 15\%$ )

$$K_T = (K_c \times T_{\text{експ}}) / T_{\text{вик}} = (14625 \times 2,2) / 48 = 670,31 \text{ грн.}$$

де  $K_c$  – вартість компютеронї системи, грн.

$T_{\text{експ}}$  – період експлуатації системи 2.2 місяців (50 робочих днів)

$T_{\text{вик}}$  – термін корисного використання 4 роки (48 місяців):

$$K_c = P_{\text{комп}} \times P\$ = 500 \times 41,00 = 14625 \text{ грн.}$$

де  $P_{\text{комп}}$  – вартість комп'ютерної системи у доларах США;

$P_{\$}$  – курс долара США по курсу НБУ на момент купівлі системи.

б) вартість використання електроенергії розраховується за формулою:

$$E_n = (P \times T_f) \times \Phi_d \times K_{\text{вик}} = (0,25 \times 5,60) \times 150 \times 0,8 = 154,8 \text{ грн.}$$

де  $P$  – потужність обчислювальної системи, кВт ( $P=0,25$ )

$K_{\text{вик}}$  – коефіцієнт використання ПК

$T_f$  – ціна за 1кВт/год., грн. ( $T_f = 5,16$  грн.)

$\Phi_d$  – дійсний час від лагодження програми

$$\Phi_d = \text{пр.д.} \times T_{\text{сер}} = 50 \text{ р.дн.} \times 3 \text{ год.} = 150 \text{ год.}$$

Де пр.д. – кількість робочих днів ПК

$T_{\text{сер}} = 3$  год – середній щоденний час роботи ПК

Отже вартість 1 машино-години роботи і від лагодження на ПК становить

$$S_{\text{м-г}} = (100,55 + 154,8) / 150 = 1,70 \text{ грн.}$$

Таким чином сумарні витрати на від лагодження і дослідну експлуатацію проектного рішення становлять:

$$K_2 = S_{\text{м-г}} \times \Phi_d = 1,70 \times 150 = 255 \text{ грн.}$$

Отже, капітальні витрати на розробку проектного рішення за формулою становлять:

$$K = K_1 + K_2 = 5578,56 + 255 = 5833,56 \text{ грн.}$$

Загальний кошторис витрат на розробку проектного рішення приведений в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Кошторис витрат на розробку проектного рішення

Складові елементи витрат	Умовне позначення	Сума витрат, грн
Витрати на оплату праці	Зз	3022,65
Нарахування на зарплату	Нз	664,98
Інші витрати	Ві	1843,93
Разом	$K_1$	5578,56
Витрати на відлагодження	$K_2$	255
Разом $K = K_1 + K_2$	$K$	5833,56

## 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЕДІЯЛЬНОСТІ

### 6.1 Загальні положення

Визначення поняття охорони праці дається в ст. 1 Закону України від 14 жовтня 1992 р. «Про охорону праці». Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. В поняття охорони праці входять і всі ті заходи, що спеціально призначені для створення особливих полегшених умов праці для жінок і неповнолітніх, а також працівників зі зниженою працездатністю. Охорону праці і здоров'я громадян віднесено до пріоритетних напрямків соціальної політики України. Так, Конституція України одним з основних соціальних прав громадян визначає право кожного на належні, безпечні й здорові умови праці, встановлює, що використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється. Завдання охорони праці:

- проектування підприємств, технологічних процесів і конструювання обладнання з обов'язковим виконанням вимог охорони праці;
- знаходження оптимальних співвідношень між різними факторами виробничого середовища, що дозволяє забезпечити мінімум несприятливого впливу їх на здоров'я працівників;
- розробка конкретних заходів щодо покращення умов праці та забезпечення її безпеки на основі застосування у виробництві новітніх досягнень науки і техніки;
- застосування раціональних засобів захисту працівників від впливу несприятливих факторів виробничого середовища, а також втілення організаційних заходів, які нейтралізують або послаблюють ступінь їх впливу на організм людини;
- розробка та застосування методів і засобів оцінки ефективності заходів з охорони праці, що плануються і здійснюються.

## 6.2 Організація охорони праці на підприємстві

На сучасному етапі науково-технічного розвитку нашої держави питання охорони праці на підприємствах є одним із найактуальніших.

Належна організація охорони праці, яка відповідає вимогам нормативно-правових актів, є основним заходом профілактики та запобігання виробничому травматизму й професійній захворюваності. Крім того, кожним трудовим договором передбачаються зобов'язання роботодавця щодо забезпечення найманих працівників безпечними умовами праці.

Законодавство України покладає на всіх роботодавців обов'язок щодо забезпечення безпечних і нешкідливих умов праці. Витрати на охорону праці на підприємстві згідно зі ст. 19 Закону повинні становити не менше 0,5% від фонду оплати праці за попередній рік, а за невиконання законодавства про охорону праці до підприємства можуть бути застосовані санкції аж до заборони його експлуатації.

Для того щоб не поставити під загрозу існування підприємства, роботодавцю необхідно:

- створити службу охорони праці.

Згідно зі ст. 15 Закону така служба обов'язково повинна бути створена на підприємстві з кількістю працюючих 50 і більше осіб відповідно до Типового положення про службу охорони праці, затвердженого наказом Держкомітету з нагляду за охороною праці від 15.11.2004 № 255. На підставі цього документа також має бути розроблено Положення про службу охорони праці цього підприємства, визначено структуру такої служби, її чисельність, основні завдання, функції та права її працівників. На підприємствах із кількістю працівників менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва особи, які мають відповідну підготовку.

- Розробити та затвердити на підприємстві положення, інструкції та інші акти з охорони праці.

Обов'язок роботодавця стосовно розробки та затвердження документів, які повинні встановлювати правила виконання робіт і поведінки працівників на території підприємства, у виробничих приміщеннях, на будівельних майданчиках і робочих місцях, передбачений ст. 13 Закону про охорону праці.

– Організувати проведення інструктажів з питань охорони праці.

Перед початком роботи нового працівника роботодавець згідно зі ст. 29 КЗпП зобов'язаний проінформувати його під розпис про умови праці, наявні на його робочому місці, у тому числі про всі небезпечні чи шкідливі виробничі фактори, які ще не усунуто, та про можливі наслідки їх впливу на здоров'я працівника, а також про можливі пільги та компенсації за роботу в таких умовах.

– Забезпечити навчання і перевірку знань з питань охорони праці.

Згідно зі ст. 18 Закону працівники, зайняті на роботах з підвищеною безпекою або там, де є потреба у професійному доборі, проходять спеціальне навчання і перевірку знань відповідних нормативно-правових актів з охорони праці. Таке навчання з питань охорони праці може проводитись як безпосередньо на підприємстві, так і навчальним центром.

– Подбати про проведення медичних оглядів.

Згідно зі ст. 169 КЗпП роботодавець зобов'язаний за свої кошти організувати проведення попереднього (при прийнятті на роботу) та періодичних (протягом трудової діяльності) медоглядів працівників, зайнятих на важких роботах, роботах із шкідливими чи небезпечними умовами праці або таких, де є потреба у професійному доборі. Також він зобов'язаний проводити щорічний обов'язковий медогляд осіб віком до 21 року.

– Забезпечити працівників засобами індивідуального захисту.

На роботах із шкідливими й небезпечними умовами праці, а також на роботах, пов'язаних із забрудненням або несприятливими температурними умовами, працівникам згідно зі ст. 164 КЗпП необхідно безкоштовно видавати спеціальний одяг, взуття та інші ЗІЗ.

– Провести атестацію робочих місць.

На підприємствах, де технологічний процес, використовуване обладнання, сировина, матеріали є потенційними джерелами шкідливих і небезпечних виробничих факторів, які можуть негативно впливати на стан здоров'я працюючих, повинна проводитись атестація робочих місць за умовами праці. Така атестація повинна проводитися атестаційною комісією, склад і повноваження якої визначаються наказом по підприємству в строки, передбачені колективним договором, але не рідше одного разу на 5 років. Порядок проведення такої атестації передбачений постановою КМУ від 01.08.1992 № 442. Відомості про результати атестації заносяться в картку умов праці.

– Налагодити облік нещасних випадків.

Згідно зі ст. 22 Закону «Про охорону праці» роботодавець зобов'язаний організувати розслідування та вести облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій у порядку, встановленому постановою КМУ від 30.11.2011 № 1232. За результатами такого розслідування роботодавець повинен скласти акт за формою Н-5 (якщо нещасний випадок визнано таким, що не пов'язаний з виробництвом) або Н-1 (якщо він визнаний пов'язаним з виробництвом). Один із примірників повинен видатися потерпілому або іншій зацікавленій особі не пізніше трьох днів з моменту закінчення розслідування.

### **6.3 Заходи безпеки на робочому місці**

Конструкція робочого місця, його розміри та взаємне розташування його елементів повинні відповідати антропометричним, фізіологічним і психофізіологічним характеристикам людини, а також характеру роботи.

Організація робочих місць повинна забезпечувати стійке положення та вільність рухів працівника, безпеку виконання трудових операції виключати або допускати лише в деяких випадках роботу в незручну позиціях, котрі зумовлюють підвищену втомлюваність.

Загальні принципи організації робочого місця:

- на робочому місці не повинно бути нічого зайвого; всі необхідні для роботи предмети повинні знаходитись поряд з працівником, але не заважати йому;
- ті предмети, котрими користуються частіше, розташовуються ближче, ніж ті предмети, котрими користуються рідше;
- предмети, котрі беруть лівою рукою, повинні знаходитись зліва а ті предмети, котрі беруть правою рукою, повинні знаходитись справа;
- якщо використовують обидві руки, то місце розташування інструментів вибирається з врахуванням зручності захоплення його двома руками;
- небезпечніше, з точки зору можливості травмування обладнання повинне розташовуватись вище, ніж менш небезпечне. Однак слід враховувати, що важкі предмети під час роботи зручніше опускати, ніж піднімати.

#### **6.4 Санітарно-гігієнічні вимоги**

Санітарно-гігієнічні вимоги до умов праці під час виконання роботи мають відповідати визначеним нормативам:

- параметри мікроклімату у приміщенні забезпечували комфортне самопочуття організму. Параметри мікроклімату закритих приміщень унормовані за санітарні норми ДСН 3.3.6.042-99.

- освітлення приміщень та робочих місць забезпечене відповідно до встановлених вимог. Відносно вікна робоче місце розміщено так, що природне світло збоку, переважно з лівого та забезпечувало коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5 %. Освітленість за штучного освітлення в площині робочої поверхні становила 300 – 500 Лк. Відношення яскравості робочих поверхонь було 3:1, а яскравість робочих поверхонь і стін (іншого обладнання) – 5:1. Використана система вимикачів, що дозволяє регулювати інтенсивність штучного освітлення залежно від інтенсивності природного, а також дозволяє освітлювати тільки потрібні для роботи зони приміщення.

– Дотримані вимоги до рівнів шуму та вібрації. Було дотримано допустимих рівнів звукового тиску в октавних смугах частот, еквівалентні рівні звуку на робочих місцях встановлені санітарними нормами виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99.

– Надходження свіжого повітря регульоване, виходячи із відповідних нормативних.

– Передбачений захист від шуму та вібрацій.

Дотримані заходи особистої гігієни на робочому місці (підтримання чистоти, миття рук тощо). Заходи особистої гігієни на робочому місці передбачають щоденне вологе прибирання, утримання у чистоті робочого місця, наявність на робочому місці тільки необхідних для роботи засобів. На робочому місці необхідно дотримуватись вимог правил внутрішнього трудового розпорядку.

## ВИСНОВКИ

Згідно завдання розроблено ескізне рішення для волоконної лінії зв'язку Львівської області. Мережа сконфігурована за принципом «кільце».

Особливістю отриманого рішення є логічна послідовність, у якій вирішено такі задачі:

- встановлені актуальні та перспективні потреби населення, держави та бізнесу у телекомунікаційних послугах стосовно проєктованої лінії;
- оцінено сучасний стан обладнання та середовища передачі і враховано перспективи їх розвинення;
- на основі діючих стандартів та методик розраховані потенційні параметри лінії передачі по швидкості;
- спроектовано загальну структуру лінії передачі з оптимальним розміщенням як трас прокладання лінії, так і розташування проміжних вузлів.

Серед особливостей роботи відмітимо:

- проєктована лінія дозволяє передавати дані зі швидкістю до 100 Гбіт/с;
- для корпоративних клієнтів наданням каналів передачі «точка-точка» з пропускною спроможністю до 1 Гбіт/с кожний.

## 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-H4-1-5618. 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.
11. Організація волоконно-оптичних систем передавання двостороннього зв'язку по одному світловоду для міських мереж зв'язку // Рекомендації Державного комітету зв'язку та інформатизації України. Київ, 2000.

**КОПІЇ ОБОВ'ЯЗКОВИХ КРЕСЛЕНЬ**