

Ім'я користувача:  
приховано налаштуваннями конфіденційності

ID перевірки:  
1015553668

Дата перевірки:  
12.06.2023 08:55:29 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Library

Дата звіту:  
12.06.2023 08:59:19 EEST

ID користувача:  
100011372

Назва документа: Дипломна Мазепа Д. А. гр ТК-41

Кількість сторінок: 40 Кількість слів: 7768 Кількість символів: 56187 Розмір файлу: 1.05 MB ID файлу: 1015205849

## 25.3% Схожість

Найбільша схожість: 12.7% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1003788589)

Пошук збігів з Інтернетом не проводився

25.3% Джерела з Бібліотеки

82

Сторінка 42

## 0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

24

## 1 РОЗРОБКА БАГАТОХВИЛЬОВОЇ І ТРАНСПОРТНОЇ МЕРЕЖІ

### 1.1 Загальні положення

У даній дипломній роботі у відповідності з технічним завданням, необхідно розробити багатохвильову високошвидкісну лінію зв'язку Львівської філії «Укртелеком», 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 Leonі 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 SDH

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 SDH (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 «пласке кільце».



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

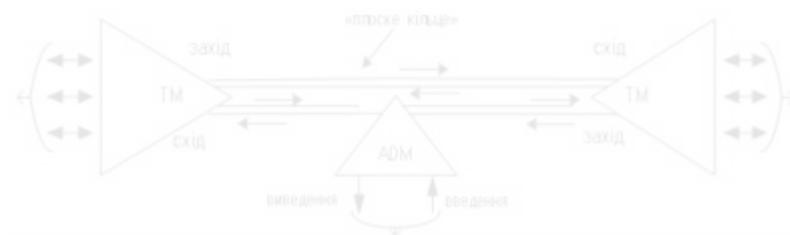


Рисунок 1.3 – Топологія « лінійного ланцюга» із захистом 1:1 типу «плоске кільце»

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

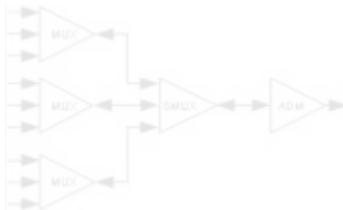


Рисунок 1.4 – Топологія типу «зірка» з використанням концентратора як центральний вузол

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 мультиплексорі 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 заблокованих 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 топологічне 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 різномірних 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 уведені 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.

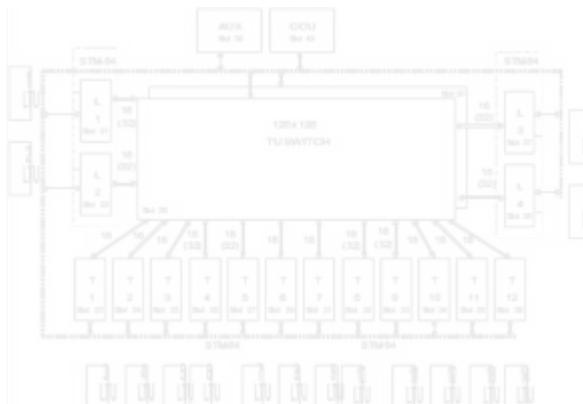


Рисунок 1.8 – Схема мультиплексора SMA16

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 проєкт 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:

$$P_{\Sigma} = \lceil (P_V + n_{\text{НП}} \cdot P_{\text{НП}}) \cdot 1,5 \rceil + 1, \quad (2.1)$$

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

$n_{\text{НП}}$  – кількість проміжних НП;

$P_{\text{НП}}$  – 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.



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 ОКТБг- 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



Схожість



Цитати



Посилання

Вилучений  
текст

Підміна символів



Коментарі

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 шoki 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.

Остаточню 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 точності визначення довжини траншей, вводів 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/кроси (ODF) на даний час в Україні не виробляються. Серед закордонних виробників наведемо лише де які: OPTOKON (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 розвинутої 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 (центральний 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 вводів, 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/кроси) 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).

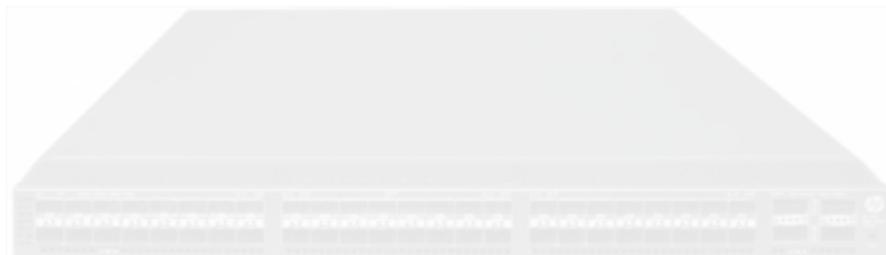


Рисунок 2.4 – комутатор HP 5900 Series JC772A 48-port (5900AF-48XG-4QSFP)

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, 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.

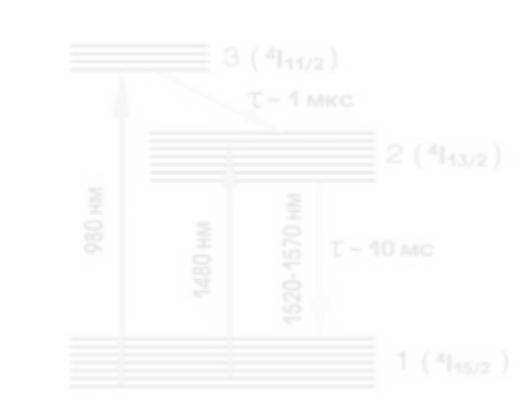


Рисунок 2.5 – Спрощена схема рівнів енергії іонів ербію ( $3 Er^{+}$ ) в кварцовому склі

Посилення світла в ербієвому підсилювачі відбувається завдяки переходу між рівнями  $2 \rightarrow 1$  ( $4 I_{13/2} \rightarrow 4 I_{15/2}$ ). 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  $2 \tau = 10000$ ). 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. [?] 35 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

стекло 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

завичай 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  $\lambda_k=1,553\text{нм}$  ( $f_k=193,0 \cdot 10^{12}$  Гц) планується передавати оптичний цифровий сигнал STM16 із швидкістю  $V_k=2,5$  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  $[ aL_{ia} ]$  за формулою (3.1) вибираємо наступні параметри:  $a_{роз} = 0,2$  дБ;  $a_{вв} = 0,1$  дБ;  $p_p = 6$  дБ;  $K_{ш} = 5,5$  дБ;  $\alpha = 0,22$  дБ/км;  $[C/Ш] = 20$  дБ; будівельну довжину ОК, рівну 4 км; ПОМ з шириною спектру випромінювання  $\Delta f_{ок} = 0,3$  нм ( $\Delta f_{ок} = 37,4$  ГГц); спектр інформаційного сигналу  $\Delta F \approx 1,2 \cdot B = 3,0$  ГГц. Отже спектр оптичного сигналу в кожному оптичному каналі при цьому рівний  $\Delta f_k = \Delta f_{ок} + 2 \Delta f_k = 40,4$  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.

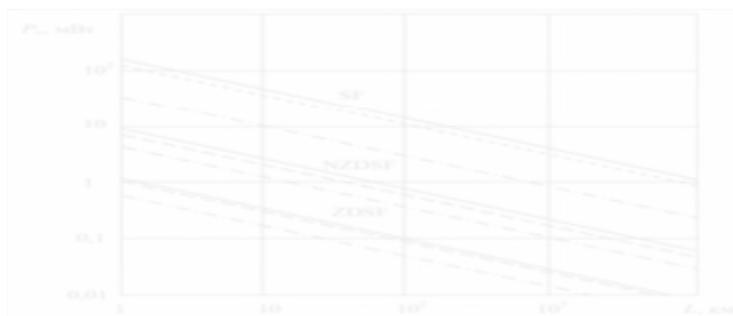


Рисунок 3.1 – Максимальна допустима потужність для одного оптичного каналу в залежності від довжини лінії при мультиплексуванні одномодових оптичних волокон

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:

$$[L_{ia}] = \frac{1}{0,22} \left( -3,47 - 2 \cdot 0,2 - 0,1 \cdot S - 6 - 10 \lg \frac{2 \pi \cdot 10^{-34} \cdot 193,0 \cdot 10^{12}}{10^{-3}} - 10 \lg 40,4 \cdot 10^9 - 5,5 - 20 - 10 \lg N \right) = \quad (3.2)$$

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

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:

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

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

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

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:

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

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

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

Нехай  $S=0$ , а  $N=10$ , то:

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

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

Тоді:

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

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

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

Нехай  $S=0$ , а  $N=20$ , то:

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

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

Тоді:

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

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

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

Результати розрахунків представлені на (рис. 3.2)

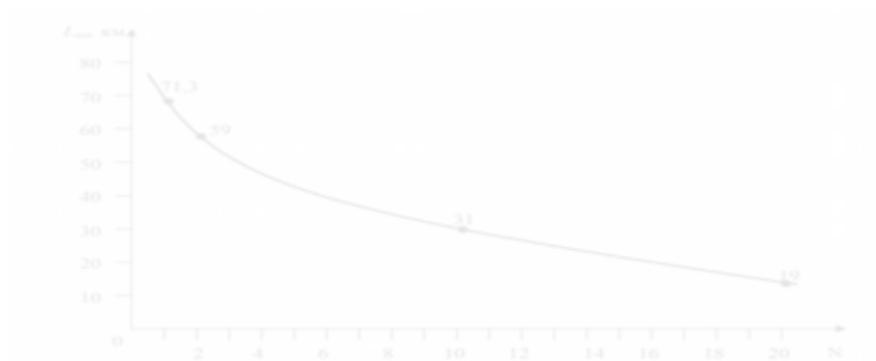


Рисунок 3.2 – Залежність довжини підсилувальної ділянки  $L_{пд}$  від числа  $N$  каскадно-ввімкнених ВОП на довжині регенераційної ділянки

### 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  $P_{пер}$  (дБм) і прийомі  $P_{пр}$ (дБм), при якому забезпечується задана якість передачі інформації [3]:

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

де  $EP$  – енергетичний потенціал ВОСП, дБ;

$P_{пер}$ ,  $P_{пр}$  – 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 EP має наступне значення:

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

Оптична потужність на приймальній стороні залежить від наступних факторів:

- 1 Рівня потужності джерела випромінювання  $P_{дв}$  дБп;
- 2 Втрат потужності в роз'ємних з'єднаннях на стиках джерело випромінювання-волокно  $\alpha_{дв}$  і волокно-приймач випромінювання  $\alpha_{вп}$  (дБ);

- 3 Втрат потужності в нероз'ємних з'єднаннях типу волокно-волокно  $\alpha_{\text{вв}}$  (дБ) при стикуванні будівельних довжин оптичного кабелю  $l_6$  (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:

$$L_{P1\max} = \frac{\text{ЕП} - \alpha_3 - 2 \cdot \alpha_{\text{дв}} + \alpha_{\text{вв}} - 2 \cdot \alpha_{\text{вп}}}{\alpha + \frac{\alpha_{\text{вв}}}{l_6}} \quad (3.3)$$

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

$$L_{P1\min} = \frac{\text{ЕП} - A - \alpha_3 - 2 \cdot \alpha_{\text{дв}} + \alpha_{\text{вв}} - 2 \cdot \alpha_{\text{вп}}}{\alpha + \frac{\alpha_{\text{вв}}}{l_6}}, \quad (3.4)$$

- 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)

$$L_{p1\text{max}} = \frac{31,5 - 6 - 2 \cdot 0,5 + 0,1 - 2 \cdot 0,5}{0,35 + \frac{0,1}{4}} = 62,9 \text{ км.}$$

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

– для волокон зі зміщеною ненульовою дисперсією (для перспективи)

$$L_{p1\text{min}} = \frac{31,5 - 15 - 6 - 2 \cdot 0,5 + 0,1 - 2 \cdot 0,5}{0,35 + \frac{0,1}{4}} = 23 \text{ км.}$$

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

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

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

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

де  $B_{\text{л}}$  – 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 вибирати найменшу з них.

Таким чином, можна визначити розташування проміжних пунктів НРП та ОРП вздовж траси ВОЛП.

– для волокон зі зміщеною ненульовою дисперсією (для WDM)

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

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	ЛРД.
	км
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
Всього	509,9

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 ПРОЄКТУВАННЯ 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 с 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 кірки, 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.

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 кондиціонування 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) обладнуються, 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.

## Схожість

Джерела з Бібліотеки

82

1	Студентська робота	ID файлу: 1003788589	Навчальний заклад: National Technical University of Ukr	4 Джерело	12.7%
2	Студентська робота	ID файлу: 1000035242	Навчальний заклад: National Technical University of Ukr	10 Джерело	5.69%
3	Студентська робота	ID файлу: 1003564530	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University	2 Джерело	1.4%
4	Студентська робота	ID файлу: 1010166394	Навчальний заклад: Kharkiv National Air Force University named ...		1.4%
5	Студентська робота	ID файлу: 51150	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University	9 Джерело	1.31%
6	Студентська робота	ID файлу: 12212763	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University	4 Джерело	0.51%
7	Студентська робота	ID файлу: 1004153976	Навчальний заклад: National University of Water Manag	26 Джерело	0.39%
8	Студентська робота	ID файлу: 5944616	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University		0.35%
9	Студентська робота	ID файлу: 12291634	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University	7 Джерело	0.31%
10	Студентська робота	ID файлу: 1005764689	Навчальний заклад: Poltava National Technical Yuri Kondratyuk U...		0.31%
11	Студентська робота	ID файлу: 1000748423	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University	2 Джерело	0.3%
12	Студентська робота	ID файлу: 1004009242	Навчальний заклад: National Aviation University		0.28%
13	Студентська робота	ID файлу: 8212826	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University	7 Джерело	0.17%
14	Студентська робота	ID файлу: 1999351	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University		0.17%
15	Студентська робота	ID файлу: 1004047533	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University		0.17%
16	Студентська робота	ID файлу: 1416122	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University		0.15%
17	Студентська робота	ID файлу: 1006120415	Навчальний заклад: National University of Life and Environmenta...		0.12%
18	Студентська робота	ID файлу: 1008331051	Навчальний заклад: Lutsk National Technical University		0.12%
19	Студентська робота	ID файлу: 1013023128	Навчальний заклад: National Technical University of Ukraine "Kyj...		0.12%
20	Студентська робота	ID файлу: 116300	Навчальний заклад: Lviv Polytechnic National University		0.1%