

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем

Кафедра телекомунікацій та радіотехніки

## КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ

Перший (Бакалаврський)

Освітній рівень

Галузь знань 17 Електроніка та телекомунікації

Шифр і назва спеціальності

Спеціальність 172 Телекомунікації та радіотехніка

Шифр і назва спеціальності

на тему Проектування оптико-волоконної міжміської лінії передачі інформації

КПТР. 2017013.01.12.ПЗ

Виконала: студентка 4 курсу, група ТР-17-1



підпис

І.І. Пелехата

Ініціали, прізвище

Керівник: д-р техн. наук, проф.



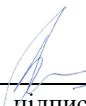
підпис

Ю.М. Бойко

Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

Зав. кафедри: д-р техн. наук, проф.



підпис

Ю.М. Бойко

Ініціали, прізвище

«20» травня 2021р.

Хмельницький, 2021

Хмельницький національний університет

Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем  
Кафедра телекомунікації та радіотехніки  
Освітній рівень перший (бакалаврський)  
Галузь знань 17 – Електроніка та телекомунікації  
Спеціальність 172 – Телекомунікації та радіотехніка  
Освітня-професійна програма Телекомунікації та радіотехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедру ТР  
\_\_\_\_\_ Юлій БОЙКО  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ ПРОЄКТ**

Пелехати Іванні Іванівні

- 1 Тема роботи: Проектування оптико-волоконної міжміської лінії передачі інформації  
керівник роботи Бойко Юлій Миколайович, д.т.н, професор.  
Затверджено наказом по університету від «05» лютого 2021р. № 11.
- 2 Строк подання студентом роботи на кафедру: «20» травня 2021р.
- 3 Вихідні дані (характеристика об'єкта, умов дослідження та ін.)  
Розробити проект волоконно-оптичної лінії передачі інформації між містами Львів та Хмельницький.
- В процесі виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи:
- обґрунтувати топологію лінії передачі інформації;
  - для організації 3928 каналів (КТЧ) вибрати та обґрунтувати тип волоконно-оптичної системи передачі інформації;
  - для довжини хвилі  $\lambda=1.55$  мкм та погонного затухання кабелю  $\alpha=0.3$  дБ/км обрати тип кабелю (вибір марки і ємності кабелю);
  - розрахувати необхідну кількість ОК з урахуванням запасів (зрощування оптичних волокон монтаж і прокладання ОК);
  - визначити та обґрунтувати кількість регенераційних пунктів (ОРП та НРП: розміщення РП по трасі ВОЛПІ);
  - розрахувати дисперсійні характеристики волоконної лінії (розрахунок основних параметрів ВС та довжини регенераційної ділянки ВОЛПІ);
  - обґрунтувати тип стикування відрізків кабеля на регенераційних ділянках (розрахунок довжини регенераційної ділянки ВОЛПІ по часовим характеристикам; розрахунок довжини регенераційної ділянки ВОЛПІ по енергетичним характеристикам);
- 4 Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що їх належить розробити):
- 1) Аналітичний огляд літературних джерел. 2) Вибір та обґрунтування траси прокладання волоконно-оптичної лінії, системи передачі, типу кабелю. 3) Розрахунок та визначення основних показників траси передачі інформації.
- 5 Перелік графічного матеріалу. 1) Схеми побудови ВОСП на основі SDH та PDH; 2) Ситуаційна схема прокладки траси ВОЛПІ; 3) Завантаження цифрового потоку в синхронні транспортні модулі (STM-N); 4) Структура вибраного типу оптичного кабелю.

Завдання отримав \_\_\_\_\_

Науковий керівник \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів (розділів) кваліфікаційного проєкту	Строк виконання етапів кваліфікаційного проєкту	Примітка
1	Вступ. Аналітичний огляд літературних джерел	10.02.2021	Вик.
2	Вибір та обґрунтування траси прокладання волоконно-оптичної лінії, системи передачі, типу кабелю.	01.03.2021	Вик.
3	Розрахунок та визначення основних показників траси передачі інформації.	03.04.2021	Вик.
4	Висновки. Презентаційні матеріали за результатами виконання дипломної роботи.	20.05.2021	Вик.

Студент




Підпис

І.І. Пелехата

Ініціали, прізвище

Керівник роботи





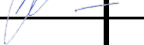
Підпис

Ю.М. Бойко

Ініціали, прізвище

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналітичний огляд літературних джерел .....	6
1.1 Узагальнена схема оптичної системи передачі інформації .....	6
1.2 Особливості синхронної цифрової ієрархії .....	9
1.3. Концептуальні засади мережевих технологій .....	14
Висновок.....	20
2 Вибір та обґрунтування траси прокладання волоконно-оптичної лінії, системи передачі, типу кабелю.....	21
2.1 Вибір траси волоконно-оптичної лінії передачі інформації та обґрунтування вимог до її прокладання .....	21
2.2 Обґрунтування вибору оптичної системи передачі інформації .....	24
2.3 Опис технічних можливостей системи передачі .....	27
2.4 Вибір та обґрунтування типу та ємності кабелю.....	34
Висновок.....	37
3 Розрахунок та визначення основних показників траси передачі інформації .....	38
3.1 Визначення основних параметрів зв'язкової оптичної лінії .....	38
3.2 Розрахунок дисперсійних характеристик світловоду.....	44
3.3 Розрахунок ділянок регенерування сигналу на оптичній лінії .....	49
3.4 Проектування конфігурації траси оптичної лінії зв'язку .....	53
Висновок.....	57
Висновки.....	58
Перелік джерел посилання.....	59

					ДРТР. 2017013.01.12.ПЗ					
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата	Проектування оптико-волоконної міжміської лінії передачі інформації Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів		
Розробив		Пелехата І.І.						3		
Перевірив		Бойко Ю.М.								
Н. контр.		Бойко Ю.М.								
Затв.									ХНУ, гр. РТ-17-1	



надійного функціонування ВОЛПІ елементів. На рис. 1 представлено сучасний передавач в інтегральному виконанні.

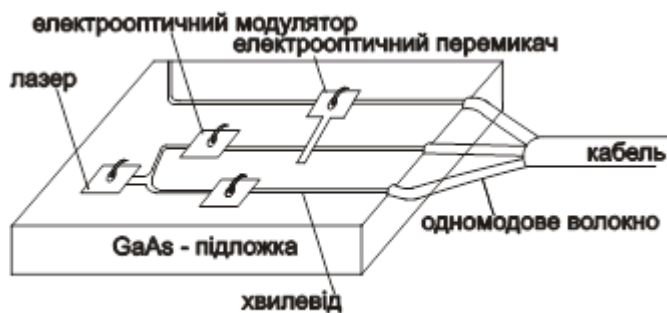


Рисунок 1 – Конструкція сучасного оптичного передавача в інтегральному виконанні

Основний елемент ВОЛПІ - це волоконний світловод (ВС). За геометрією та профілем показника заломлення розрізняють наступні базові структури світловодів: багатомодове; градієнтне та одномодове рис. 2.

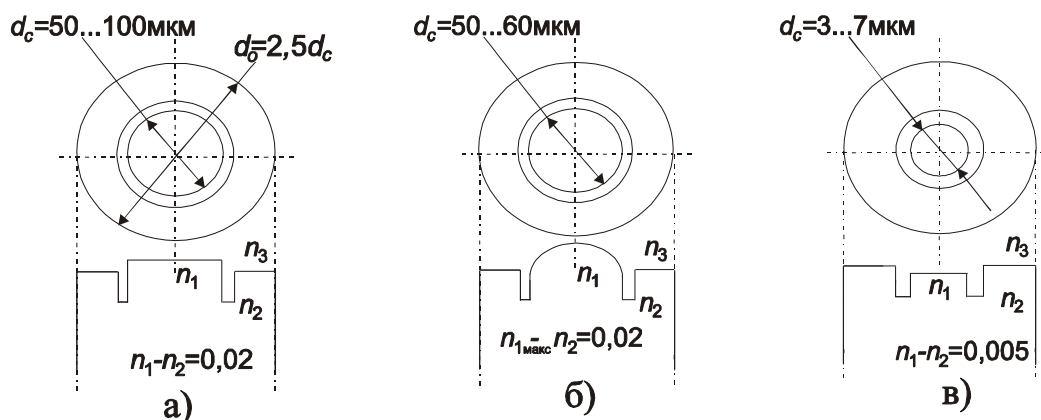


Рисунок 2 – Геометричні показники профілю показника заломлення світловодів: а – багатомодового; б – градієнтного; в – одномодового

Виділимо основні перевагами ВОЛПІ у порівнянні з електричними кабелями є:

- відсутність у конструкціях ВС та створених на їх основі оптичних кабелів дефіцитних матеріалів (меді, алюмінію, свинцю);

- широка полоса пропускання ВС велика пропускна спроможність ВОЛПІ;
- незначна залежність втрат світлової енергії в ВС від частоти у широкій смузі частот;
- можливість роботи в широкому діапазоні температур завдяки незначного її впливу на втрати енергії в ВС;
- повна захищеність ВС від зовнішніх електромагнітних впливів;
- відсутність взаємних впливів між окремими ВС;
- невеликі габарити і маса оптичних кабелів (в 10–15 раз менше, ніж у електричних кабелів);
- здатність до прокладання оптичних кабелів у існуючих лінійно-кабельних з'єднаннях, у ґрунті та на опорах повітряних лінійних зв'язків.

					ДРТР. 2017013.01.12.ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

# 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

## 1.1 Узагальнена схема оптичної системи передачі інформації

Розглянемо узагальнену схему оптичної системи передачі інформації та виділимо основні процеси які супроводжують специфіку її функціонування, рис. 1 [1]



Рисунок 1.1 – Узагальнена схема оптичної системи передачі інформації

Схема (рис. 1) містить у своєму складі наступні складові. Мультиплексор який об'єднує декілька незалежних каналів на передавальному боці і розділяє на приймальному боці системи передачі. Звичайно апаратура мультиплексування об'єднує як аналогові так і цифрові канали. Головним аналоговим каналом є канал який містить тональні частоти і який сформовано частотами в діапазоні 300...3400 Гц. Типовими аналоговими каналами є такі канали як : первинний (частоти 60...108 кГц); вторинний (частоти 312.....552 кГц); третинний (частоти 812....2044 кГц).

Використовують також спеціальні канали, а саме звукового мовлення

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ		
Змін	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Пелехата І.І.			Проектування оптико-волоконної міжміської лінії передачі інформації  Аналітичний огляд літературних джерел  Пояснювальна записка		
Перевір.		Бойко Ю.М.					
Реценз.							
Н. Контр.		Бойко Ю.М.					
Затверд.		Бойко Ю.М.					
					Лім.	Лист	Листів
						6	
					ХНУ, гр. ТР-17-1		

(30...15000Гц); телевізійні (50Гц...6,5МГц).

Основний цифровий канал формується на основі імпульсно-кодової модуляції (ІКМ) і має швидкість 64 кбіт/с. В цьому випадку використовується процедура дискретизації тонального сигналу у часовому інтервалі 125 мкс та восьми розрядне кодування. До інших каналів відносять цифрові канали із швидкостями: 2,048 Мбіт/с; 8,448 Мбіт/с; 34,368 Мбіт/с; 139,264 Мбіт/с, які відповідно називають як первинний, вторинний, третинний, четвертинний.

Оптичні лінії передачі інформації мають ту особливість, що в них знайшли застосування цифрові мультиплексори. Використання таких пристроїв пов'язане з тим, що утворені групові сигнали представлені двійковим кодом така форма сигналів забезпечує належну завадостійкість для інформації яка передається. Потрібно зазначити, що аналогові оптичні лінії побудовано і на аналогових методах мультиплексування [2-5].

На поточному етапі розвитку оптичних телекомунікацій широке поширення отримали цифрові технології мультиплексування:

- технологія “майже” синхронної цифрової ієрархії або ПЦІ (плезіохронна цифрова ієрархія);
- технологія синхронної цифрової ієрархії або СЦІ;
- технологія побудована на використанні асинхронного режиму АРП.

На поточний момент в оптичному зв'язку застосовується ряд стандартів які регламентують порядок мультиплексування і забезпечення передачі інформації за допомогою волоконних систем. Зокрема, це такі стандарти як Езернет (Ethernet) , а також стандарти транспортної оптичної ієрархії ТОІ.

До основних методів мультиплексування можна віднести технологію спектрального поділу каналів WDM [6]. Особливість такої технології полягає в тому, що при використанні одного волоконного світловоду застосовуються оптичні піднесучі що організовані на різних довжинах хвиль. Врахування величини частотного рознесення між каналами дозволяє виділити такі типи ущільнення: грубе ущільнення за довжиною хвилі (CWDM); щільне

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ущільнення за довжиною хвилі (DWDM). В таблиці 1.1 представлено основні характеристики таких методів ущільнення [6-10].

Таблиці 1.1 – Основні показники методів ущільнення

Характеристика	CWDM	DWDM
Рознесення довжин хвиль (частот) каналів	20 нм (2000 ГГц)	1,6/0,8/0,4 нм (200/100/50 ГГц)
Діапазони	O, E, S, C i L	C i L
Число каналів	Максимум 16	Десятки...сотні
Вартість каналу	Низька	Висока

Позначення спектральних діапазонів для одномодових волокон:

- O - початковий (Original): 1260 нм ... 1360 нм;
- E - розширений (Extended): 1360 Отримати нм ... 1460 нм;
- S - короткохвильовий (Short wavelength): 1460 нм ... .1530 нм;
- C - стандартний (Conventional): 1530 нм ... 1570 нм;
- L - довгохвильовий (Long wavelength): 1570 нм ... 1625 нм.

Розподіл довжин хвиль по спектральним діапазонами показаний на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Розподіл довжин хвиль за спектральними діапазонами, відповідно до G.694.2

Плезіохронна цифрова ієрархія включає в себе кілька рівнів з різними швидкостями. Плезіохронна технологія підтримує наступні рівні ієрархії цифрових каналів: абонентський або основний канал E0 та користувацькі канали рівнів E1 – E4.

Цифрові плезіохронні канали є вхідними (корисне навантаження) для користувацьких інтерфейсів мереж синхронної ієрархії. Плезіохронні канали E1, E2, E4 (відповідно до Рекомендації G.703) є вхідними каналами для транспортної синхронної мережі. В цій мережі вони передаються за допомогою мережних віртуальних контейнерів відповідного рівня.

Взаємодія між плезіохронним і синхронними системами передачі інформації реалізується за допомогою методів мультиплексування. У таблиця 1.2 зведено основні характеристики синхронної оптичної цифрової ієрархії.

Таблиця 2.1 – Основні рівні і швидкості передачі інформації у SDH

Рівень синхронної цифрової ієрархії	Швидкості передачі, Мбіт/с	Примітка
STM-0	51,84	Рівень STS-1 (SONET)
STM-1	155,52	ITU-T P. G707
SNM-4	622,08	ITU-T P. G707
STM-16	2488,32	ITU-T P. G707
STM-64	9953,28	ITU-T P. G707
STM-256	39813,12	ITU-T P. G707

## 1.2 Особливості синхронної цифрової ієрархії

Синхронна технологія формування оптичної мережі в порівнянні з плезіохронною має наступні переваги [1]:

- передбачає синхронну передачу і мультиплексування, що призводить до необхідності побудови систем синхронізації мережі;
- передбачає пряме мультиплексування і пряме демультимплексування цифрових потоків плезіохронної мережі;
- підтримується сумісність апаратури різних виробників за рахунок використання стандартизованих оптичних та електричних інтерфейсів;

- існує можливість об'єднання систем передачі європейської та американської плезіохронної ієрархії;
- забезпечує повну сумісність з апаратурою плезіохронної ієрархії, з ATM і IP;
- існує процес багаторівневого керування і самодіагностики транспортної мережі.

На рис. 1.3 представлено реалізацію оптичної мережі за технологією щільного ущільнення.

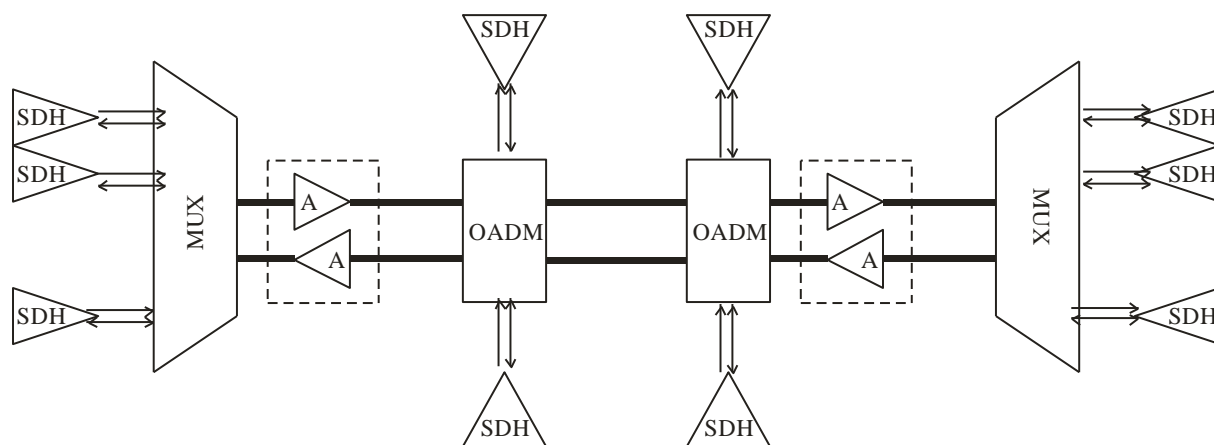


Рисунок 1.3. – Реалізація оптичної мережі

Розглянемо також функціональну побудову оптичної системи передачі інформації рис. 1.4.

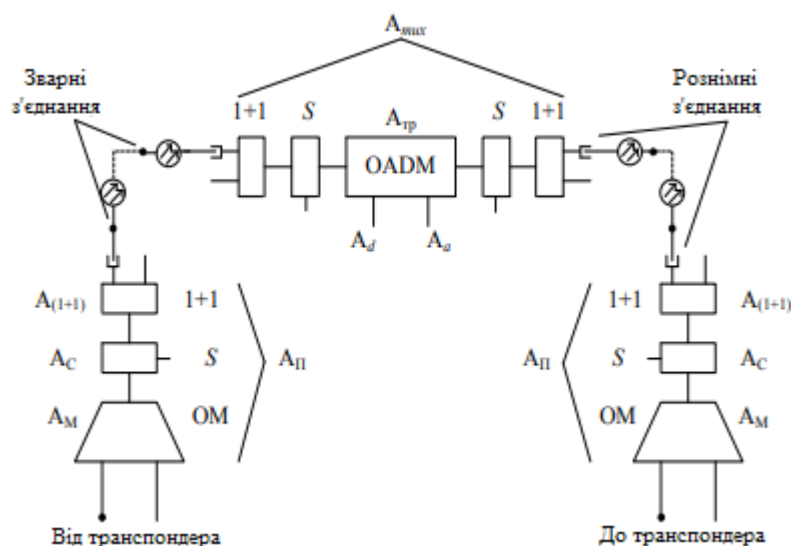


Рисунок 1.4 – Функціональна побудова оптичної системи передачі інформації

До складу такої побудови входять: 1) Вузли зв'язку які застосовуються як кінцеві та транзитні пункти. Вузли зв'язку, в більшості випадків, виконують функції кінцевих пунктів (обслуговується підсилювальне

обладнання (ОРП)). Між ними розміщуються необслуговувані підсилювальні пункти (НПП), регенераційні (НРП) пункти, дистанційно живляться з кінцевих пунктів, або мають автономні джерела електроживлення та енергопостачання.

Склад кінцевих пунктів на волоконно-оптичній системі передачі визначається схемою організації зв'язку. Звичайно кінцевий пункт містить апаратуру системи передачі, а також обладнання яке забезпечує електроживлення та інші технічні засоби.

Лінійно-кабельні споруди включають: кабелі, з'єднувальні, розгалужувальні і ін., муфти, вступні кінцеві кабельні пристрої, обладнання для постановки і утримання кабелів під постійним надлишковим тиском, пристрої захисту кабелю від корозії, ударів блискавки і від джерел зовнішнього електромагнітного впливу, а також НПП (НРП) і їх наземні споруди, захисні заземлення, кабельну каналізацію і ін.

Станційні споруди утворюють сукупність типових групових трактів і каналів первинної мережі.

Пристрої електроживлення розміщуються в кінцевих і проміжних пунктах системи та забезпечують живлення систем автоматизованого керування і телемеханіки, освітлення та інших засобів зв'язку. Склад електрообладнання утворений трансформаторними підстанціями, дизельгенераторами, акумуляторними батареями, перетворювальними пристроями, стабілізаторами тощо [11].

Як вже зазначалось на поточний момент у ВОЛПІ головним чином використовуються цифрові системи передачі з часовим мультиплексуванням за синхронною технологією а також реалізація системи передачі за технологією щільного ущільнення (WDM).

На передавальному боці лінії передачі електричні сигнали первинних цифрових каналів із швидкістю 64 кбіт/с перетворюються на оптичні і передаються по оптичним волокнам лінійного тракту. На приймальному боці

відбувається зворотне перетворення оптичного сигналу у первинний електричний сигнал.

В синхронних системах передачі інформації можливе виділення (або введення) з цифрового потоку високого рівня цифрових потоків нижчого рівня без демультимплексування і подальшого мультимплексування останніх. Потрібно наголосити, що наявність жорсткої синхронізації на всіх рівнях дозволяє здійснювати оперативне управління інформаційними потоками в мережі з одного центру аж до зміни конфігурації мережі [12].

Апаратура цифрової синхронної ієрархії всіх рівнів призначена для роботи з одномодовим волокном типу SF, DSF, NZDSF у другому та третьому вікнах прозорості [].

Технологія TDM (Time Division Multiplexing - часового мультимплексування) дозволяє передавати дані каналів, надаючи їм послідовно інтервали часу, протягом яких і здійснюється передача даних [13].

При часовому ущільненні сигналів їх передача здійснюється дискретно в часі. При цьому між сусідніми дискретами одного сигналу завжди є "часові вікна", в яких немає передачі цього сигналу. Ці "вікна" і заповнюються дискрети інших сигналів. Залежно від того, в якій формі представлений дискрет кожного сигналу, можливі два види часового ущільнення [10]:

- ущільнення сигналів в аналого-імпульсної формі;
- уплотнення сигналів в цифровій формі.

У першому випадку кожен з сигналів багатоканальної системи попередньо перетворюється з аналогової форми в сигнал АІМ-1 або АІМ-2. Формування АІМ-сигналів проводиться з допомогою дискретизатору, які управляються відповідними імпульсами комутації

Оскільки ці сигнали є ортогональними (непересічними) в часі, то дискрети сигналів також не збігаються в часі і їх можна безпосередньо об'єднати в груповий сигнал за допомогою лінійного суматора.

Формування зсунутих в часі послідовностей імпульсів здійснюється за допомогою генераторного обладнання.

На приймальному боці дискретизатор здійснюють виділення з групового сигналу вибірок тільки "своїх" каналів. Після канального фільтра відбувається відновлення безперервного сигналу з дискретного.

Канальні дискретизатори на передавальному та приймальному боці повинні працювати у синхронному і синфазному режимах. З цією метою використовується примусова синхронізація приймальні частини. Вона виконується за допомогою спеціального приймача синхросигналу, який з групового сигналу виділяє сигнал синхронізації і подає його на генераторне обладнання приймача.

Основні недоліки розглянутого варіанту часового ущільнення є наступні:

- з ростом числа сигналів які об'єднуються зменшується інтервал часу між сусідніми вибірками, який відповідає часу коли груповий кодер (або декодер) повинен зробити перетворення в цифровий сигнал (і навпаки), в наслідок чого ускладнюється реалізація цих групових пристроїв;
- ускладнюється об'єднання з аналоговими сигналами, частота дискретизації яких істотно відрізняється від "стандартної"  $F_d = 8$  кГц;
- ускладнюється об'єднання аналогових і цифрових абонентських сигналів [14].

У випадку другого варіанту часового ущільнення, об'єднання і поділ проводиться з дворівневими цифровими сигналами. В цьому випадку вхідні цифрові потоки, що мають тактову швидкість  $F_\tau$ , об'єднуються в пристрої об'єднання (ПО) в один сумарний цифровий потік, який має тактову швидкість в  $M$  разів перевищує  $F_\tau$ . На приймальній стороні цей потік розділяється пристроєм поділу на  $M$  первинних (вихідних) потоків. Розрізняють два варіанти об'єднання цифрових потоків:

- синхронне, коли вихідні цифрові потоки синхронні по частоті і фазі (їх тактові швидкості строго однакові);



апаратуру WDM/DWDM стали широко застосовувати на мережах операторів телекомунікації. Апаратура WDM/DWDM дозволяє об'єднувати в одному оптичному волокні до 40 і більше оптичних каналів, а деякі промислові системи DWDM дозволяють об'єднувати до 128-160 каналів.

Технології DWDM, на відміну від WDM (в якій звичайно використовуються вікна прозорості 1310 і 1550 нм або додатково область довжин хвиль в околиці 1650 нм), притаманні дві важливі особливості:

- використання тільки одного вікна прозорості 1550 нм в межах області довжин хвиль (1530-1560 нм) посилення оптичних волокон, легованих ербієм;

- малі інтервали по довжині хвилі  $\Delta\lambda$  між мультиплексованими каналами каналами звичайно дорівнюють 3,2 / 1,6 / 0,8 або 0,4 нм.

Мультиплексорне обладнання DWDM розраховано на роботу з великою кількістю каналів (до 32 і більше) зі строго визначеними довжинами хвиль і забезпечують можливість мультиплексування (демультиплексування) одночасно як всіх каналів, так і для введення/виведення одного або кількох каналів із загального оптичного потоку з великим числом каналів. Вихідні оптичні інтерфейси (порти) демультиплексору DWDM закріплені за певними довжинами хвиль, отже такий пристрій здійснює пасивну маршрутизацію по довжинах хвиль. Через малу різницю в довжині хвиль каналів і необхідності роботи з великим числом каналів одночасно, мультиплексори DWDM вимагають значно більшої прецизійності у виготовленні в порівнянні з мультиплексорами WDM. Все це призводить до більш високої вартості апаратури DWDM в порівнянні з WDM. Структурна схема системи DWDM (рис. 1.7) включає наступні основні блоки: транспондери (приймачі), оптичні мультиплексори/демультиплексори MUX/DEMUX, підсилювачі (в складі апаратури DWDM), лінійні підсилювачі і стабільні джерела.

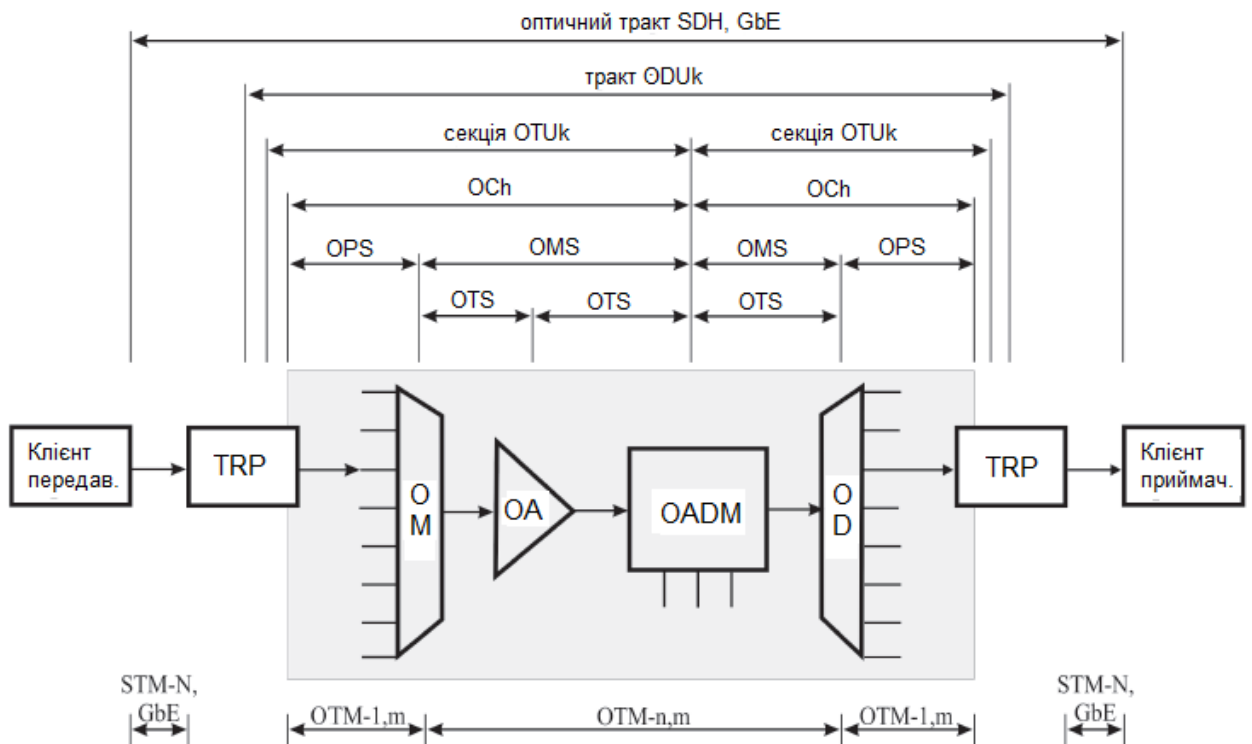


Рисунок 1.7 – Структура системи щільного ущільнення за довжинами хвиль DWDM: TRP – транспондер; OM – оптичний мультиплексор; OD – оптичний демультиплексор; OA – оптичний підсилювач; OADM – оптичний підсилювач вводу/виведення

У системах WDM/DWDM застосовуються цілком певні діапазони довжин хвиль оптичного випромінювання в межах, рекомендованих МСЕ-Т. Системи WDM з кроком каналів по частоті понад 200 ГГц дозволяють мультиплексувати не більше 16 каналів. Системи DWDM з кроком каналів по частоті, що дорівнює 100 ГГц, дозволяють мультиплексувати не більше 64 каналів. Системи HDWDM з кроком каналів по частоті менше 50 ГГц дозволяють мультиплексувати більше 64 каналів.

В рекомендаціях G.692 ITU-T визначено частотний план систем DWDM з рознесенням частот між сусідніми каналами 100 ГГц, що відповідає інтервалу по довжині хвилі  $\Delta\lambda \approx 0,8$  нм.

Спектральний розміщення каналів різного рівня в оптичному волокні представлено на рис. 1.8.

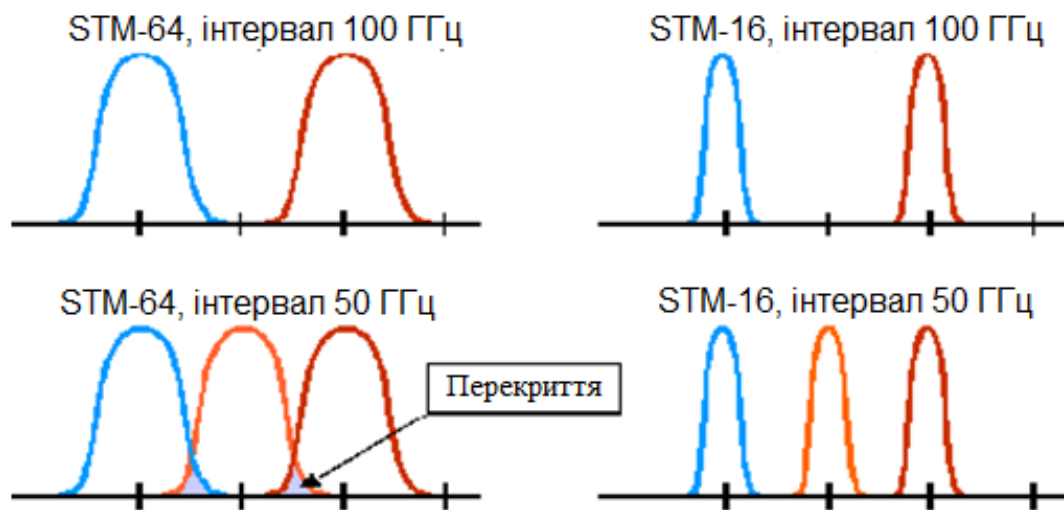


Рисунок 1.8 – Спектральне розміщення каналів у оптичному світловоді

Мультиплексування каналів рівня STM-64, що мають частотний інтервал 50 ГГц, неприпустимо через перекриття спектрів сусідніх каналів. Таким чином, частотний інтервал в 50 ГГц накладає більш жорсткі вимоги до перестроювання лазерів, мультиплексорів та інших компонентів апаратури систем DWDM, що веде до збільшення її вартості.

Мультиплексори є головним функціональним модулем мереж SDH/СЦД. Тики пристрої виконують збирання (мультиплексування) високошвидкісного потоку STM-N з низькошвидкісних компонентних потоків плезіохронної ієрархії або синхронної ієрархії в тракці передачі і розбивання (демультиплексування) високошвидкісного потоку STM-N з метою виділення низькошвидкісних потоків в тракці прийому (рис. 1.9). Високошвидкісний оптичний сигнал надходить на лінійний вихід мультиплексору, який називається агрегатним виходом. Агрегатний вихід виконує функцію каналу передачі/прийому, містить оптичний передавач і оптичний приймач, які підключаються до оптичних волокон за допомогою порту.

Мультиплексори як універсальні пристрої здатні виконувати функції концентратора і комутатора потоків, а також регенератора параметрів сигналів.

Інтерфейси які входять до складу мультиплексорів, і здійснюють передачу і прийом компонентних сигналів, називають трибними, а передачу і прийом лінійних сигналів – агрегатними [2].

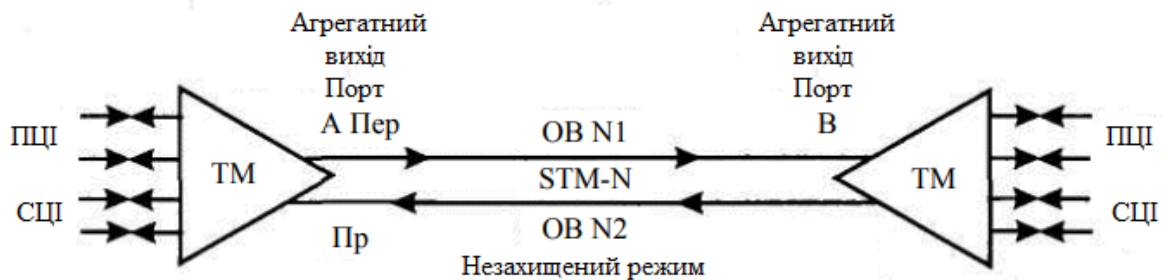


Рисунок 1.9 – Забезпечення зв'язку між термінальними мультиплексорами

В огляді, також розглянемо структуру апаратури кінцевої станції [].

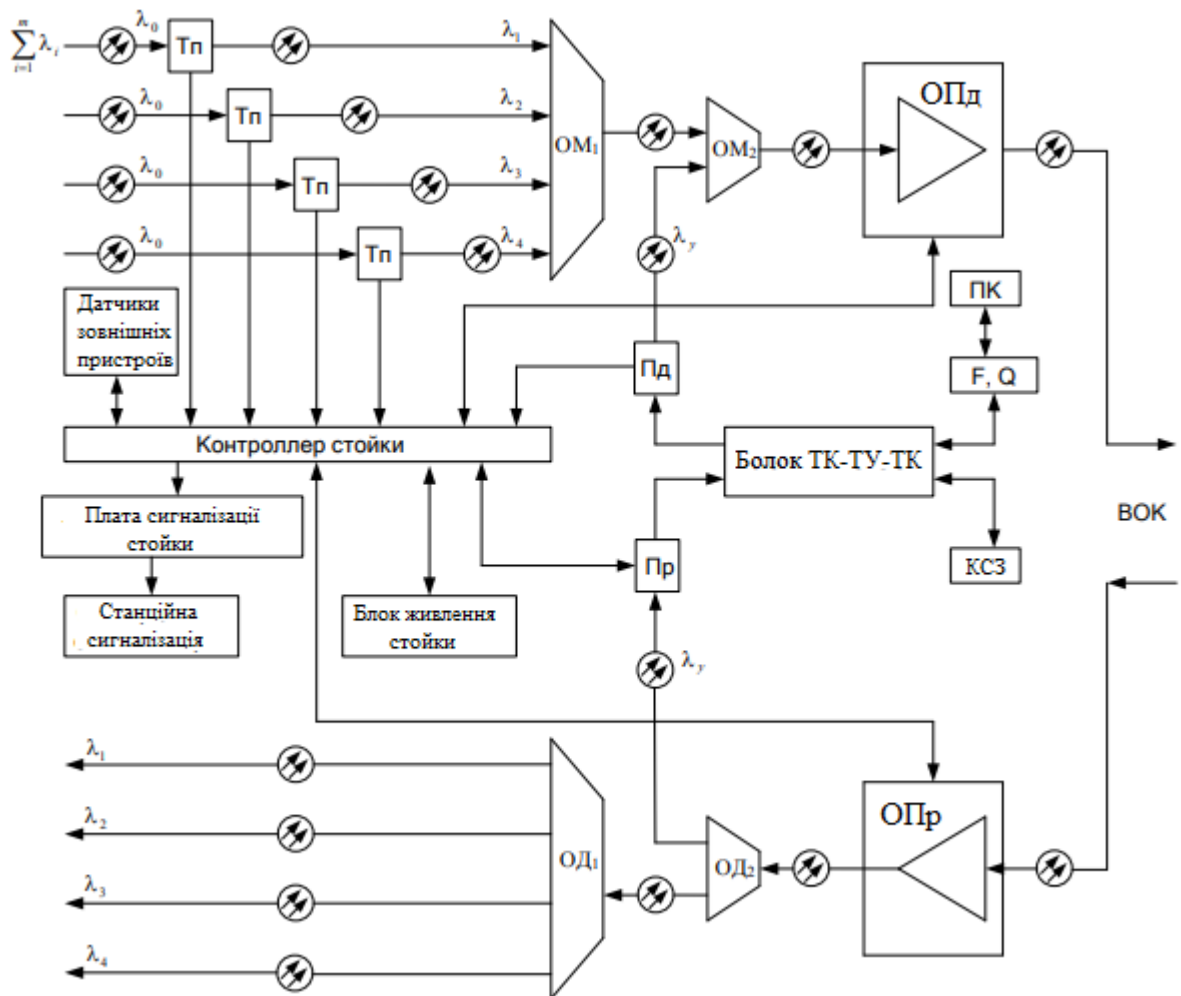


Рисунок 1.10 - Структурна схема кінцевої стійки

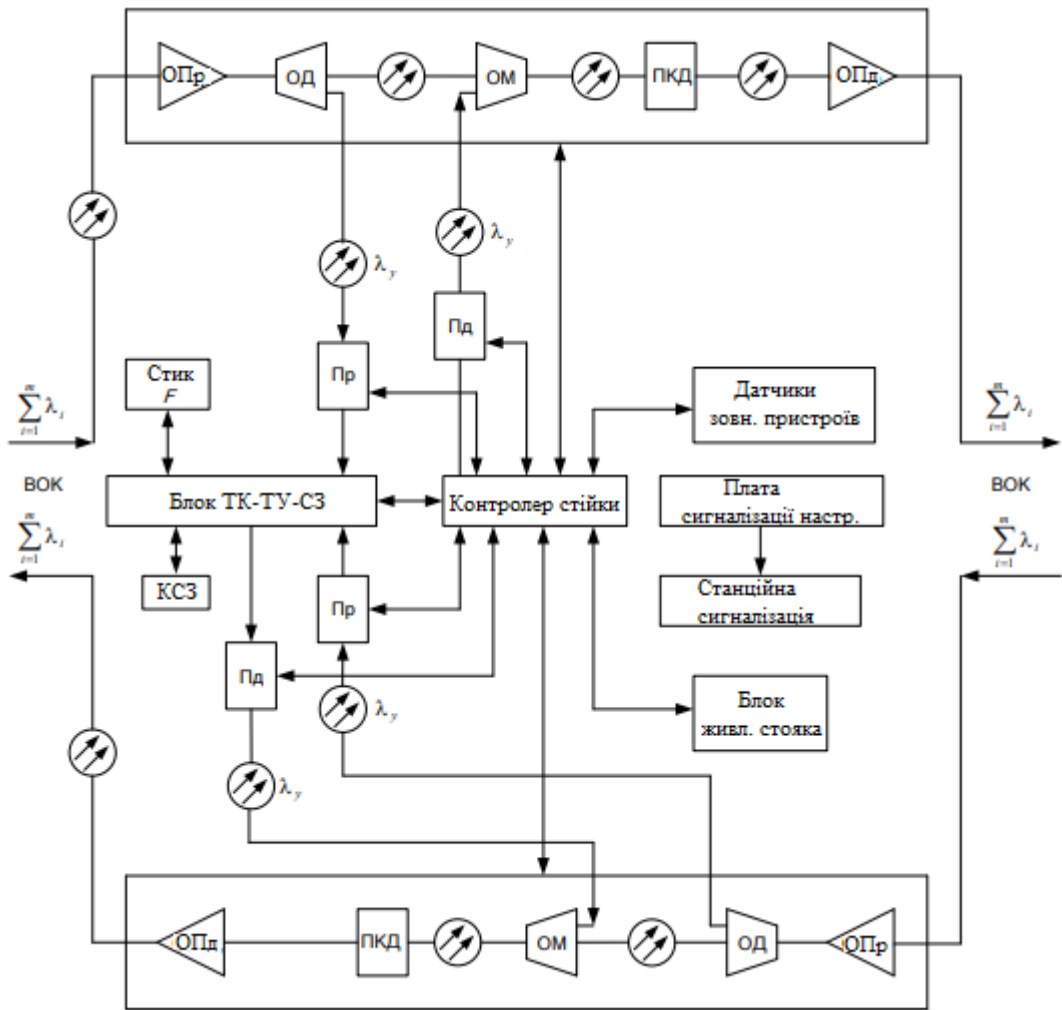


Рисунок 1.11 – Структурна схема проміжного підсилювача

Стойка підсилювального пункту призначена для установки в неопалюваних приміщеннях НПП і включає в себе: оптичні підсилювачі передачі (ОП<sub>д</sub>), оптичні підсилювачі прийому (ОП<sub>р</sub>), оптичні мультиплексори (ОМ<sub>1</sub>, ОМ<sub>2</sub>); оптичні демультиплексори (ОД<sub>1</sub>, ОД<sub>2</sub>), пасивні компенсатори дисперсії (ПКД). До складу стійки також входять: блок системи телеконтролю і телеуправління і службового зв'язку (ТК-ТУ-СЗ), блок контролера стійки, блок живлення стійки, панель загальностійкової сигналізації, комплект службового зв'язку (КСЗ), персональний комп'ютер (ПК).

Блоки стоек оснащені вбудованими пристроями сигналізації, контролю і управління (контролерами).

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

## ВИСНОВОК

У розділі кваліфікаційної роботи проведено огляд принципів реалізації узагальненої схеми оптичної системи передачі інформації. Описано базові напрями щодо реалізації методів ущільнення для оптичних телекомунікацій. Здійснено огляд та дано порівняльні характеристики щодо плезіохронної та синхронної цифрової ієрархії оптичних ВОЛП. Проведено огляд концептуальних засад мережевих технологій зокрема за технологією SDH.

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТРАСИ ПРОКЛАДАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ, СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ, ТИПУ КАБЕЛЮ





### 2.1 Вибір траси волоконно-оптичної лінії передачі інформації та обґрунтування вимог до її прокладання

У відповідності до рекомендацій викладених у [16-18] будемо здійснювати проектування прокладання траси ВОЛПІ вздовж автомобільних артерій, що в кінцевому рахунку має забезпечити питання зручності будівництва, забезпечить процес оптимізації експлуатаційних можливостей та ремонтпридатності.

Для з'ясування специфіки наявних автомобільних шляхів між заданими у технічному завданні містами а саме Львовом та Хмельницьким, використовуючи атлас проведено аналіз особливостей прокладених доріг. Результати аналізу дозволяють обрати два можливих варіанти формування траси ВОЛПІ (табл. 2.1). Таким чином, аналіз обраних варіантів на основі базових критеріїв [5] враховуючи і економічну складову дозволить обрати найбільш вигідний варіант. До згаданих критеріїв, зокрема, віднесемо мінімізацію довжини лінії, мінімізацію можливих перетинань з перешкодами, доступність і наявність умов автоматизованого прокладання траси.

Наближена схема формування лінії ВОЛПІ представлена на рис. 2.1.

Аналіз варіантів реалізації траси ВОЛПІ із врахуванням зазначених критеріїв дозволяє констатувати щодо доцільності вибору для реалізації лінії зв'язку першого варіанту. Такий висновок зроблено на підставі даних щодо меншої тривалості лінії, мінімальної кількості перетинань з водними артеріями, залізничними шляхами, а також наявності місцевості з ґрунтовим покриттям.

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ			
Змін	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Пелехата І.І.			Проектування оптико-волоконної міжміської лінії передачі інформації Вибір та обґрунтування траси прокладання волоконно-оптичної лінії, системи передачі, типу кабелю Пояснювальна записка	Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Бойко Ю.М.					21	
Реценз.						ХНУ, гр. ТР-17-1		
Н. Контр.		Бойко Ю.М.						
Затверд.		Бойко Ю.М.						



при застосуванні кабелеукладача. Основні вимоги до параметрів кабельних споруд при прокладці наступні:

- забезпечення мінімізації радіусу згину;
- використання максимальних значень тягових зусиль;
- контроль та забезпеченні мінімальних значень температурних показників;
- забезпечення встановлено-досяжних здавлюючих підсилень.

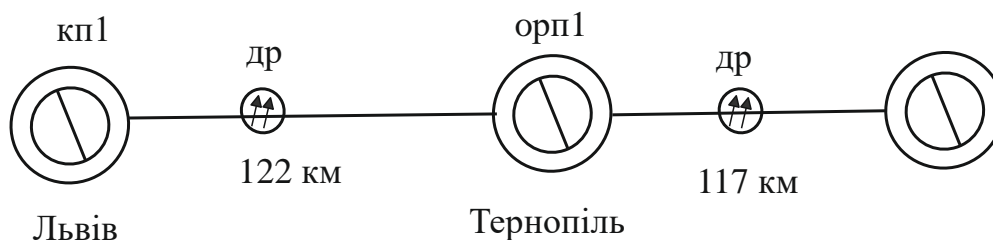


Рисунок 2.1 – Схема пропонуваної траси ВОЛПІ

Невиконання перерахованих вимог може призводити до збільшення коефіцієнтів затухання у світловодах, наслідків які призводять до можливих розривних випадків у волоконних лініях. В цьому випадку, оптичні мережі мають ту особливість, що непомітний наочно дефект або розрив спричиняє розтягування волоконних конструкцій, утворює мікро пошкодження які виступають чинниками які здатні утворити розрив кабельних споруд.

Необхідне число каналів тональної частоти визначимо з таблиці яка встановлює відповідність такої кількості каналів з типами каналів передачі інформації [5].

Таблиця 2.2- Відповідність каналів передачі інформації каналам тональних частот

Тип каналу	Кількість каналів тональної частоти
Телефонного зв'язку	1
Забезпечення передачі даних - 1	1
Телеграфних повідомлень - 24	1
Забезпечення фототелеграфних повідомлень - 1	1
Забезпечення радіомовних повідомлень 1	3
Забезпечення телевізійних сигналів - 1	480 (34,368 Мбіт/с)

Кількість каналів необхідних для забезпечення вимог ТЗ та їх відповідність з каналами тональних частот представлено у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Визначення необхідної кількості каналів тональних частот

Тип каналу	Кількість каналів тональної частоти
Телефонного зв'язку – 2734	2734
Телеграфного зв'язку – 191	8
Фототелеграфної інформації - 62	62
Радіомовлення – 5	15
Забезпечення передавання даних – 149	149
Забезпечення телевізійних сигналів – 2	960
Сума	3928

## 2.2 Обґрунтування вибору оптичної системи передачі інформації

Для передачі 3928 каналів тональних частот на по лінії з обґрунтованою відстанню 239 км враховуючі критерій максимального завантаження оптичної системи передачі інформації і втому числі кабельних споруд проведемо вибір і обґрунтування необхідного обладнання.

Використаємо для порівняння оптичну систему передачі інформації типу СОПКА-5М, а також систему передачі синхронної цифрової ієрархії SDH забезпечення рівню ненижче STM-4. Такі критерії ґрунтуються на вимогах викладених у програмних засадах ряду українських провайдерів і операторів зв'язку, зокрема Укртелекому щодо формування та розбудови магістральних зв'язкових споруд з використанням апаратури рівня ненижче STM-4 із можливість подальшого нарощення [24-26].

Враховуючі окреслену вище концепцію будівництва магістральних зв'язкових споруд, визначимо економічні та технічні показники кожної оптичної системи передачі та з'ясуємо їх характеристики (табл. 2.4).

Аналіз характеристик систем передачі розміщених у табл. 2.4 дозволяє встановити наступне: система передачі інформації на основі апаратури Axd 620(2) характеризується збільшеною тривалістю ділянки регенерації, що в

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



потрібне багатоступеневе розформування групового сигналу). Крім того зриви синхронізму у групових потоках сигналів на тривалий час зобов'язує застосовувати процедури многоступеневого поновлення синхронізму поточкових копонт. Як показано у першому розділі роботи, такі проблеми долаються шляхом впровадження концепції SDH.

Апаратура синхронної цифрової ієрархії містить гнучкий механізм доступу до певних віртуальних контейнерів та уникає процедуру послідовного мультиплексування (демультиплексування) корисних навантажень, що притаманно плезіохронній технології. Отже такі переваги напряду мінімізують витрати на апаратуру системи передачі. Крім того, апаратура SDH характеризується компактними габаритами, універсальністю. Використання синхронних сигналів та пов'язане з цим оброблення потоків показчика формують універсальне архітектурне рішення на кшталт типу «шина», що дозволяє здійснювати підключення різних типів інтерфейсів і охоплювати збільшену кількість частот. Особливість SDH-апаратури пов'язана також і з програмно-апаратним управлінням її складовими, тому здійснення оновлення та розширення послуг, застосування оновлених блокових складових виконується в стислі часові інтервали без простою в роботі.

Важливо виділити і досить великий перелік функціональних можливостей SDH-апаратури, зокрема такі процедури як адміністрування, технічне обслуговування проводяться спеціальним додатковим пристроєм каналного зв'язку інтегровано в оптичну інфраструктуру апаратури. Використання таких каналів забезпечення зв'язку, шляхом пакетної обробки, в системі синхронної ієрархії забезпечується керування типу «з одного закінчення».

Проведений аналіз дозволяє дає можливість вибрати для забезпечення передачі необхідної кількості каналів тональної частоти, у відповідності до ТЗ та техніко-економічної доцільності, на лінії зв'язку між містами Хмельницький та Львів, більш сучасну апаратуру системи передачі інформації SDH фірми Еріксон типу Axd 620(2).

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3 Опис технічних можливостей системи передачі

Універсально-компактне мультиплексорне обладнання типу Axd 620(2) задатно забезпечити рівень агрегації STM-4. Таке мультиплексорне обладнання можна застосувати для будівництва як магістральних так і регіональних трас.

Універсальність обладнання типу Axd 620(2) за рахунок модульної архітектури, дозволяє його застосування в наступних випадках:

- як мультиплексор термінального обладнання рівня STM-4 та має здатність здійснювати мультиплексування і демультиплексування трибних сигналів до одного (або двох, при використанні функцій захисту), завдяки інтерфейсу STM-4;

- мультиплексорне устаткування для введення-виведення (ADM): має можливість виділення сигналів з двох (або чотирьох, при використанні функцій захисту) STM-4 лінійних інтерфейсів в трибних інтерфейсах ;

- компактний синхронний крос-конектор який має шістнадцять портів (4/1 SDXC) на лінійні стороні з інтерфейсами типу STM-4 і STM-1;

- проміжний регенераційний пристрій який має можливість ренерування сигнали двох різних ліній типу STM-4.

У відповідності до рекомендацій викладених у G.703 ІТУ-Т характеристики електричних інтерфейсів належать ряду: 1,5 Мбіт/с , 2 Мбіт/с , 34 Мбіт/с , 45 Мбіт/с, 140 Мбіт/с, 155 Мбіт/с.

Основні параметри оптичних інтерфейсів вписані у табл. 2.5. (G.957 ІТУ-Т).

Тут задається затухання і дисперсійні показники оптичної лінії між її входом і виходом. Характеристики затухання враховують граничні умови пов'язані у врахуванні втрат у конекторах, зварних ділянках кабелю, атенюаторах оптичних та запасних будівельних ділянках кабелю з метою забезпечення належного перекриття всієї довжини лінії при:

- передбачених змінах конфігурації кабелю (використовують додаткові ділянки кабелю такі як зростки, підвищення довжин кабельної лінії і т.п.);

- зміні типу оптичного світловоду у кабелі в наслідок дії агресивних навколокабельних впливів;

- врахування виходу з ладу конекторів, оптичних антенуаторів інших компонентів пасивного типу.

Дисперсійні ефекти пов'язані з стрибкоподібною зміною коефіцієнту заломлення оптичної лінії, впливають на якість лінії. Крім того, спотворення викликані роботою лазерного устаткування безпосередньо впливають на якісні показники щодо передачі пакетів вздовж світловоду, призводять до виникнення шумових та інтерференційних ефектів на приймальному боці. Таким чином забезпечення якісної передачі даних вимагає:

- забезпечення мінімізації затухання в точці на вихідному кінці кабелю, із врахуванням конекторів;

- забезпечення максимального рівня дискретного відбивання між входом і виходом лінії.

Важливо також врахувати вимогу щодо забезпечення мінімізації показників чутливості приймальної апаратури і рівнів потужності перевантаження. Встановлені значення чутливості і перевантаження потрібно узгоджувати з середнім діапазоном потужності випромінювання, а також затухання при кожному застосуванні.

Концепція SDH має таку структуру, що мережеві інформаційні потоки узгоджуються із складовими структури для підтримання сполучення. У SDH такі структури створюються мережевими секціями і трактами та переносять цифрові потоки і широкосмугові інформаційні потоки (рекомендація G. 702). Система спеціальних показчиків дозволяє гнучку компенсацію несанкціонованих змін у фазі і швидкості сигналів SDH-ієрархії. Саме така





Синхронні транспортні модулі синхронізовано з циклами секцій, а віртуальні контейнери вводять в транспортні модулі із застосуванням допоміжних структур з метою коригування нестабільності швидкості і фази навантаження для транспортування. Інформація щодо таких структур описана нижче.

Для погодження мережних шарів високого порядку і секцій мультиплексування застосовується адміністративний блок (Administrative Unit, AU). Такий блок має наступну конфігурацію: інформаційне навантаження віртуального контейнеру VC4 або 3 та показчик адміністративного блоку, тобто  $AU = AU\text{-показчик} + VC$ . Цикловий початок навантаження може зміщуватись щодо секції мультиплексування який має фіксоване положення. Сукупність адміністративних показчиків з різними позиціями в навантаження синхронного транспортного модуля формують групу AU (Administrative Unit Group, AUG). Така група складається з однорідного набору блоків типу AU3 або AU4.

Тоді утворюється транспортний модуль високого порядку типу STM- $n$  шляхом сполучення по байтам  $n$  кількості AUG і заголовку секцій:  $STM\text{-}n = SOH + n \times AUG$ .

Мережеві шари різних порядків узгоджуються за допомогою субблоку типу (Tributary Unit, TU) який включає інформаційну складову віртуального контейнеру і так званий показчик TU. Такий показчик визначає зміщення початку циклу навантаження від початку віртуального контейнеру і має структуру:  $TU = TU\text{-показчик} + VC$ . Відповідно субблоки позначаються як TU11, TU12, TU2, TU3. Таки субблоки займають визначені положення в навантаженні віртуального контейнера та утворюють групу субблоків під назвою (Tributary Unit Group, TUG). Виділяють TUG2 та TUG3, де TUG2 характеризується певним набором однотипних субблоків TU11, 12 або містить TU2, TUG3 який характеризується субблоками TUG2 або одним TU-3.

Рисунок 2.2 представляє принципи системного групоформування синхронної цифрової ієрархії та встановлює взаємодію між складовими у

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



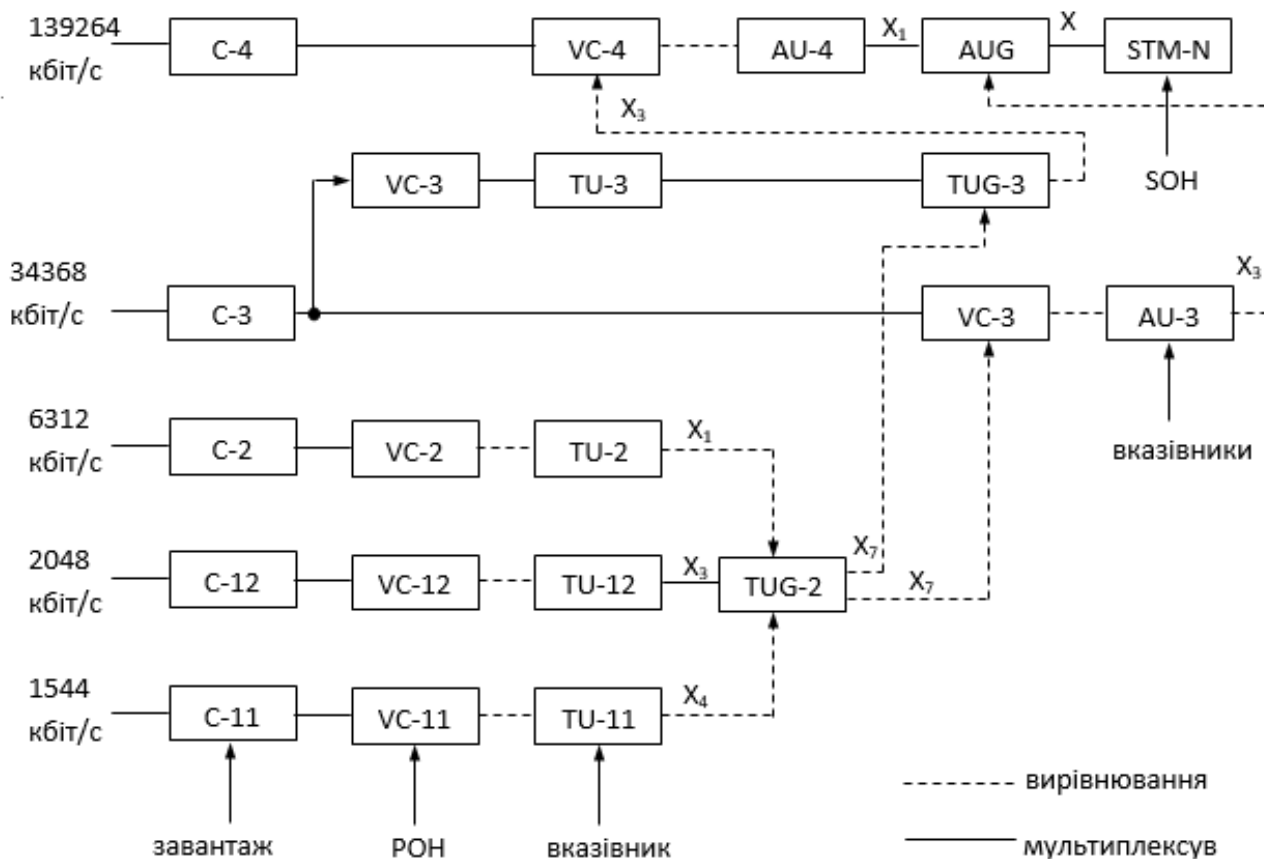


Рисунок 2.2 – Схема групоутворення синхронної технології

Виділимо деякі можливості синхронної технології групоутворення і при цьому врахуємо рекомендації ІТУ-Т.

Розглянемо процедуру конкатенації (concatenation). Основна мета її застосування полягає у об'єднанні декількох структур типу AU4 і TU2 з метою їх сумісної передачі у навантаженні та отриманні більшої швидкості яка перевищує швидкість одного з субблоків. Як певний приклад можна розглянути об'єднання 2-х віртуальних контейнерів типу VC4. Такий модифікований контейнер здатен переносити навантаження типу 350Мбіт/с. При з'єднанні показники AU і TU формують специфічне значення типу СІ яке регламентує порядок операцій у відповідності до значення показника першого блоку з'єднання.

Крім того з'являється можливість передачі так званих АТМ-утворень (Asynchronous Transfer Mode cells). Тобто по суті створюється асинхронний

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

режим передачі потоків для швидкісного стику абонентів (Рекомендації I. 432).

## **2.4 Вибір та обґрунтування типу та ємності кабелю**

Візьмемо до розгляду лінійку оптичних кабелів ОКЛ, ОКЛБ, ОКЛС, ОКЛК, ОКЛАК. Таки кабелі дозволяють здійснювати прокладання траси у каналізаційних колодцях, колекторах, трубах вздовж мостів і у шахтах та у ґрунтах різних категорій при застосування автоматизованих і механізованих кабелеукладачів. Існує можливість експлуатації таких кабелів на внутрішньозонових та магістральних мережах передачі інформації [15].

Виділимо основні елементи конструкції кабелей.

ОКЛ - 1 – містить центральний силовий елемент з склопластикового стрижню, навколо якого скручені оптичні модулі з одномодовими оптичними волокнами і які заповнено гідрофобним наповнювачем. Поверх осердя накладається захисна поліетиленова оболонка.

ОКЛ -2 – аналогічно до ОКЛ - 1, але центральний силовий елемент виготовляється з сталюго тросу в поліетиленовій оболонці.

ОКЛБ-1 – має центральний силовий елемент з склопластикового стрижня, навколо якого скручені оптичні модулі з одномодовими оптичними волокнами і заповнені гідрофобним заповнювачем. Поверх осердя накладено проміжну поліетиленову оболонку до складу броньовані з сталеві стрічки та захисна поліетиленова оболонка.

ОКЛС-3 – має профільоване осердя яке є армованим склопластиковим стрижнем. В пази осердя вкладено одномодові світловоди, а вільний простір заповнюється гідрофобним заповнювачем. Поверх осердя накладені проміжна поліетиленова оболонка, броня з склопластикових стрижнів і захисна поліетиленова оболонка.

ОКЛК -3– аналогічно до ОКЛС-3, але з містить броню з сталевих проводів.

ОКЛАК-1– містить центральний силовий елемент з склопластикового

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

срижня, навколо якого скручені оптичні модулі з одномодовими оптичними волокнами та заповнені гідрофобним заповнювачем. Поверх осердя накладені проміжна полімерна оболонка, далі алюмінієва зварна оболонка та оболонка з поліетилену, броня з сталевих проводів та захисна поліетиленова оболонка. Така конструкція кабелю доцільна для прокладання вздовж судоплавних річок а також болотяних місцин з глибиною понад 2-х м.

У відповідності до ТЗ, кваліфікаційна робота присвячена проектуванню лінії ВОЛПІ такої конфігурації, коли пункти поновлення (регенерації) розміщуються в межах населених пунктів. Таким чином можна вибрати тип кабелю без проводів дистанційного живлення.

Прокладання оптичних кабелів на ґрунтовій місцевості яка має рівнинну конфігурацію або в межах місцевості їх розташування сільськогосподарських угодь, не глибокі водні артерії та болотяні заводи головним чином використовується броньова структура на основі сталевих стрічок, гофрованої сталевий броні та склопластикових стержнів [17].

Враховуємо такі рекомендації та для організації будівництва ВОЛПІ між містами Львів та Хмельницький вибираємо з кабель марки ОКЛБ-2 з можливістю ґрунтового і водного прокладання, а також кабель типу ОКЛ-2 – для прокладання у кабельній каналізації. Для прокладання кабелю в каналізації з метою захисту несучих конструкцій використаємо захисну пластикову трубку типу ПНД-32.

При формування траси, врахуємо необхідність резервної довжини кабелю та двократного запасу експлуатації.

В конструкції кабелю для лінії передачі інформації застосуємо чотири оптичних світловоди, причому одне будемо використовувати і на передачу і на приймання, а два в якості резерву. Використаємо ще два оптичних світловода для забезпечення резерву експлуатації.

Остаточо, з можливістю збільшення ємності кабелю в найближчому часі застосовуємо кабельну конструкцію яка містить 12 оптичних світловодів.

На рис. 2.3 представлена конструкція обраного кабелю.

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

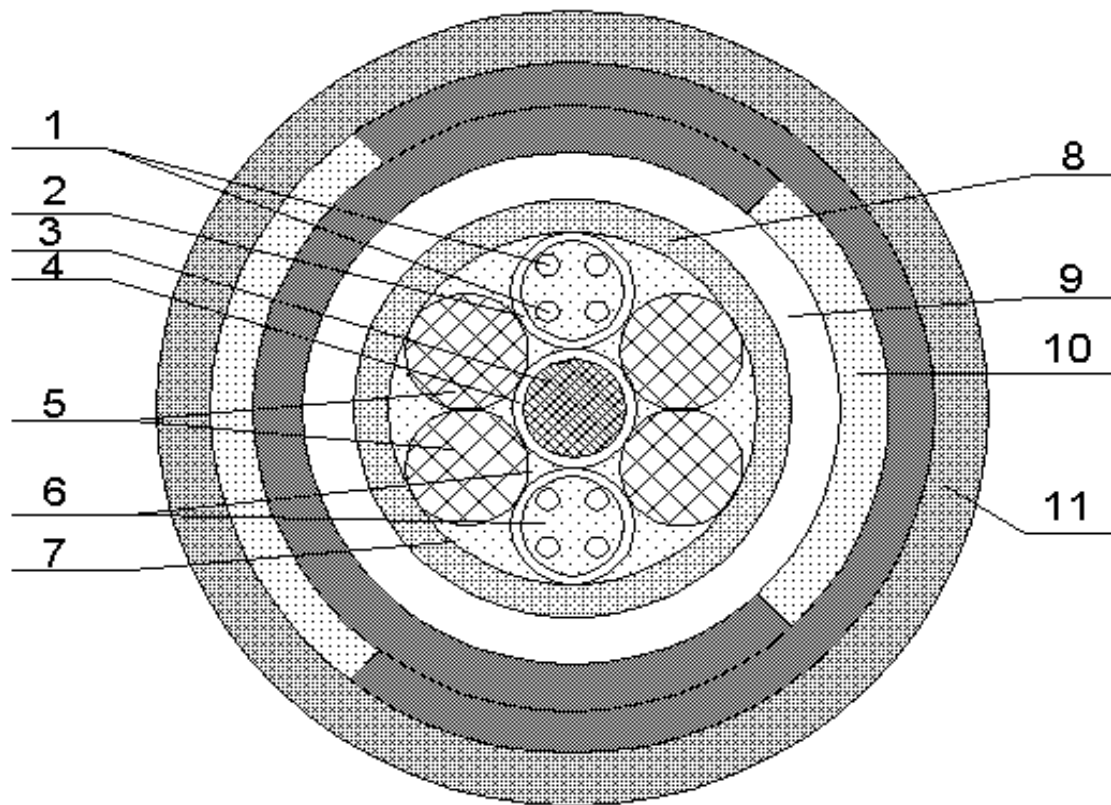


Рисунок 2.3 - Профіль конструктивного складу кабелю типу ОКЛБ-2: 1 – одномодові світловоди ; 2 – оболонка оптичного модуля; 3 – центральний зміцнювальний елемент; 4 – захисна оболонка; 5 – наповнювач (корділь); 6 – гідрофобний заповнювач; 7 - скріплювальна обмотка; 8 – проміжна оболонка; 9 – підкладка з гофрованого паперу; 10 – сталева стрічкова броня; 11 – поліетиленовий шланг

Проведемо розрахунок потрібної кількості оптичного кабелю для будівництва ВОЛПІ з урахуванням запасу кабелю. Згідно рекомендацій викладених у [5] запас кабелю на прокладання у ґрунті складає 2%, а на прокладку в мережі кабельної каналізації до 6%, на прокладання через водні артерії до 14%. Розміщення кабелю для введення планується у новозбудованій кабельній каналізації до 6 км і існуючій каналізації до 4 км.

Таким чином розрахована довжина кабелю буде:

$$N = 228,7 \cdot 0,02 + 10 \cdot 0,057 + 0,3 \cdot 0,14 + 239 = 244,176 \text{ км}$$

## ВИСНОВОК

За результатами розділу здійснено вибір траси волоконно-оптичної лінії передачі інформації та обґрунтування вимог до її прокладання. Сформовано топологію траси за рекомендаціями основних критеріїв щодо прокладання оптичної лінії. Здійснено обґрунтування та вибір оптичної системи передачі інформації. Вибір проводився із врахуванням реалізації ВОЛПІ на основ синхронної технології мультиплексування та групоутворення. Технічні можливості обраного для реалізації системи передачі відповідають вимогам технічного завдання. Проведено вибір та обґрунтування марки та ємності кабелю для прокладання лінії. За результатами розрахунку, із врахуванням запасів кабелю при прокладанні в різних умовах, визначена довжина кабелю ВОЛПІ для з'єднання міст Львів та Хмельницький яка становить 244,18 км.

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## З РОЗРАХУНОК ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРАСИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

### 3.1 Визначення основних параметрів зв'язкової оптичної лінії

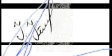



Передача оптичних хвиль вздовж оптичного волокна ґрунтується на застосування ефекту відбиття хвилі від межі розподілу двох діелектричних шарів. Таким чином, використовуючи закон Сенеліуса-Декарта з якого слідує, що явище повного внутрішнього відбиття для каналізації оптичної хвилі у світловоді, потрібно забезпечити більше значення серцевини ніж показник заломлення оболонки. Отже має виконуватись умова  $n_1 > n_2$  при відповідному виборі показників заломлення.

Крім того як слідує з [8] існування одномодового режиму у оптичному світловоді можливе при виконанні наступної нерівності  $V < V_{кр}$  (приведена частота) [9]. Так як забезпечення мінімального діаметру (радіусу) серцевини світловоду досить складна задача, тому більш ефективним рішенням є мінімізація різницевого значення показників заломлення шарової структури світловоду ( $n_1 - n_2 \rightarrow \min$ ).

З точки зору впливу легуючих чинників на якість матеріалу світловоду, потрібно акцентувати увагу на тому, що окиси германію та фосфору звичайно збільшують значення показника заломлення, а окиси бори та фтору – навпаки, знижують [8].

Враховуємо описане вище матеріал серцевини світловоду буде скляний з додаванням окису германію та кремнію, а як оболонку застосуємо кварцевий світловод. Пропорції матеріалів 3,2%  $GeO_2$ , 96,8%  $SiO_2$  та 100%  $SiO_2$ .

Виберемо значення показників Селмеєра у відповідності до [5] згідно до обґрунтованих вмістів матеріалів конструкції світловоду. Обрані показники зведемо до таблиці 3.1.

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ			
Змін	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Пелехата І.І.			Проектування оптико-волоконної міжміської лінії передачі інформації Розрахунок та визначення основних показників траси передачі інформації Пояснювальна записка	Лім.	Лист	Листів
Перевір.		Бойко Ю.М.				38		
Реценз.						<i>ХНУ, гр. ТР-17-1</i>		
Н. Контр.		Бойко Ю.М.						
Затверд.		Бойко Ю.М.						

Спектральні показники заломлення матеріалу світловоду аналітично представляється формулою Селмеєра, який описує дисперсію світловоду [27-30]:

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_{i=1}^3 \frac{A_i \cdot \lambda^2}{\lambda^2 - l_i^2} \quad (3.1)$$

Таблиця 3.1 – Значення показників ряду Селмеєра

Склад матеріалу світловоду	Тип коефіцієнту	Значення коефіцієнту при $i$ , що дорівнює		
		1	2	3
3,1% GeO <sub>2</sub> , 96,9% SiO <sub>2</sub>	$A_i$	0,7028554	0,414630	0,897454
	$l_i$ , мкм	0,0727723	0,114308	9,896161
100% SiO <sub>2</sub>	$A_i$	0,6961663	0,407942	0,897479
	$l_i$ , мкм	0,0684043	0,116241	9,896161

Значення коефіцієнтів  $A_i, l_i$  проводиться експериментальним шляхом.

Визначаємо значення відносної різниці показників заломлення серцевини та оболонки з формули [4, 5]:

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2 \cdot n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (3.2)$$

Для робочої довжини оптичної хвилі яка складає 1,55 мкм визначенні показники будуть наступні:

$$n_1 = 1,4487, n_2 = 1,44402, \Delta = 0,00323$$

Визначимо для заданого діапазону довжин хвиль спектральну залежність для показника заломлення. Залежність представлена побудована за допомогою програми Mathcad представлена на рис. 3.1.

Отримані розрахункові результати щодо значень показників заломлення, а також різниці показники зведемо до таблиці № 3.2.

Визначимо значення групового показника заломлення світловоду з виразу Селмеєра [5]:

$$N = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda} = n + \frac{\lambda^2}{n} \cdot \sum_{i=1}^3 \frac{A_i \cdot l_i}{(\lambda^2 - l_i^2)^2} \quad (3.3)$$

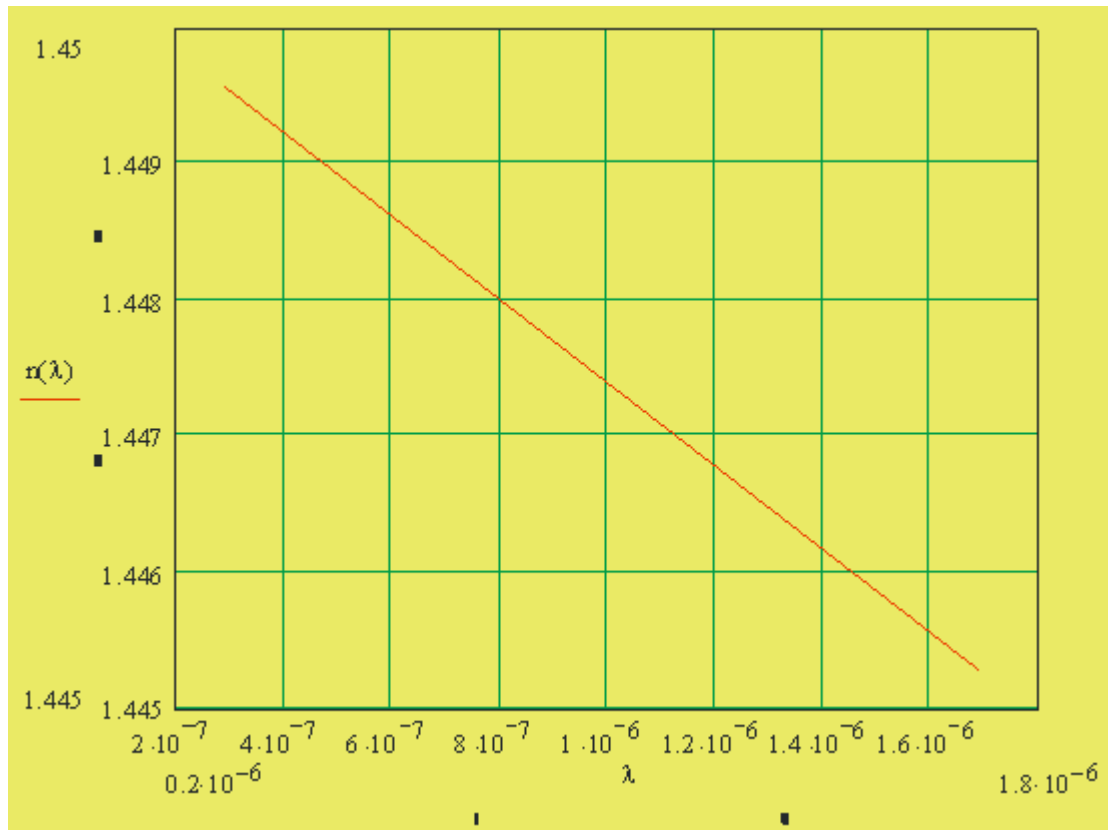


Рисунок 3.1 – Графік залежності зміни значення показника заломлення серцевини від значення довжини хвилі у світловоді

Таблиця 3.2 – Розраховані значення показників заломлення шарів світловоду

λ, МКМ	n1	n2	Δ
0,8	1,458111	1,453317	0,003288
0,9	1,456511	1,451754	0,003266
1,0	1,455149	1,450417	0,003252
1,1	1,453917	1,449204	0,003242
1,2	1,452751	1,448050	0,003236
1,3	1,451609	1,446918	0,003232
1,4	1,450464	1,445779	0,003230
1,5	1,449297	1,444618	0,003229
1,55	1,448702	1,444024	0,003229
1,6	1,448096	1,443419	0,003230
1,7	1,446849	1,442174	0,003231
1,8	1,445548	1,440874	0,003234





До таблиці 3.3 зведено значення групових показників заломлення та значення коефіцієнтів дисперсії (залежної від структури матеріалу) залежно від значення довжин хвиль.

Таблиця 3.3 – Значення групових показників заломлення та питомого коефіцієнту матеріальної дисперсії від довжини хвилі

$\lambda$ , мкм	N1	N2	M1	M2	$\frac{d\Delta}{d\lambda}$
0,8	1,472292	1,467145	134,9191	129,335	-0,00021
0,9	1,469634	1,464603	76,5482	72,9807	-0,000158
1,0	1,467985	1,463039	42,5572	40,1461	-0,000118
1,1	1,467017	1,462135	21,4121	19,7025	-0,000087
1,2	1,466537	1,461704	7,51247	6,24814	-0,000061
1,3	1,466425	1,461631	-2,07105	-3,04198	-0,000038
1,4	1,466605	1,461843	-8,96674	-9,7382	-0,000018
1,5	1,467029	1,462293	-14,1268	-14,7591	0,0000006
1,55	1,467321	1,462596	-16,2473	-16,8259	0,0000096
1,6	1,467662	1,462949	-18,1329	-18,6659	0,000018
1,7	1,468484	1,463791	-21,3536	-21,8146	0,000036
1,8	1,469481	1,464805	-24,0307	-24,4388	0,000053

Залежність зміни значень дисперсії від значення довжин хвиль подано на рис. 3.3.

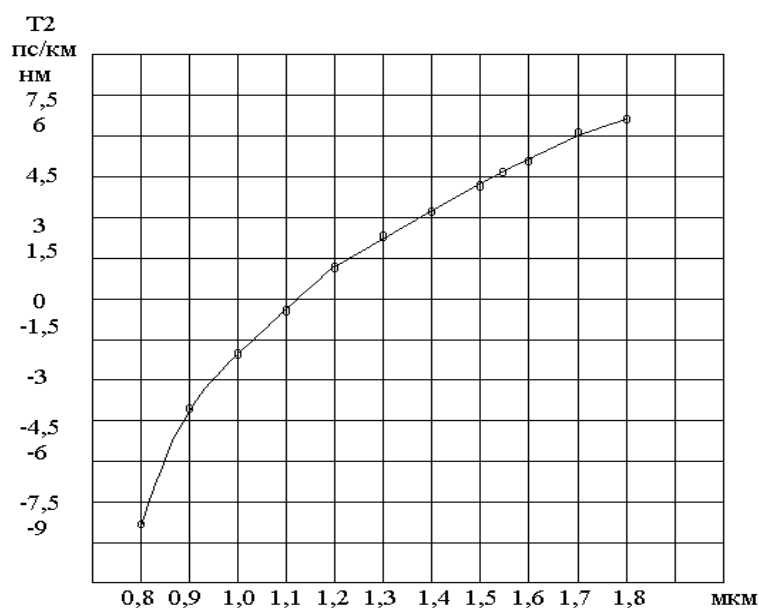


Рисунок 3.3 – Графік зміни значення питомої матеріальної дисперсії залежно до зміни довжин хвиль

### 3.2 Розрахунок дисперсійних характеристик світловоду

Поширення оптичної хвилі вздовж оптичного світловоду, на практиці, пов'язане нелише із зпотвореннями амплітуди імпульсу. Звичайно відбувається розмиття-розширення імпульсної послідовності. Таке явище у теорії прийнято називати дисперсією.

Під час опису типів дисперсій у оптичному хвилеводі прийнято користуватись такими чинниками, а саме різницею групових швидкостей модових портретів вздовж світловоду, скалом матеріалу світловоду та напрямними можливостями хвилеводної структури.

З фізичного боку явище виникнення дисперсії можна пояснити тим, що за рахунок відмінностей у швидкостях поширення окремих мод які потрапляють до світловода з джерела, що працює на певній довжині хвилі, час проходження цих окремих мод вздовж світловоду з вхідного торця до вихідного буде відрізнятись. Такий ефект спричиняє явище розмиття імпульсу випромінювання на вихідному боці лінії. В цьому випадку величина розмиття імпульсу буде визначатись різницею часів поширення мод різного порядку вздовж світловоду. Такі моді, повільна і швидка, звичайно характеризуються різними груповими швидкостями вздовж світловоду. Таке явище в теорії оптичних мереж називають міжмодовою дисперсією.

У таблицю 3.4 зведено результати розрахункових показників нормованих частот у відповідності до значень довжин хвиль.

Аналіз явищ які виникають і оптичних світловодах окреслює наступні типи дисперсій крім розглянутих вище. Поширення оптичної енергії вздовж світловоду супроводжується і наявністю хроматичного типу дисперсії. Пов'язаний такий вид дисперсії із різними значеннями швидкості поширення окремих спектральних складових каналізованих вздовж світловоду окремих мод утворених різними спектральними складовими спектру джерела випромінювання. Така ситуація призводить до затримки цих частотних складових утвореного сигналу у світловоді. Таким чином, величина хроматичної дисперсії напряму пов'язана із шириною спектральної смуги яку випромінює

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

оптичне джерело світлового потоку.

Прийнято поділяти хроматичний тип дисперсії на дві складові – хвилеводну, матеріальну, профільну.

В цьому зв'язку хвилеводна – залежить від напрямних здатностей оптичної хвилеводної структури (існує нелінійний зв'язок фазового коефіцієнту для певної моди від частоти джерела оптичного світлового потоку). Тоді як матеріальна дисперсія визначається властивостями матеріалу світловоду та оболонки щодо величини заломлення світлового потоку різної довжини хвиль.

Визначимо величину розширення імпульсу світлового потоку, що поширюється на ділянці світловоду  $L$  [5]:

$$\tau = \sqrt{\tau_{MM}^2 + \tau_{XP}^2} = \sqrt{\tau_{MM}^2 + (\tau_{\epsilon} + \tau_{mat})^2} \quad (3.8)$$

У формулі (3.8)  $\tau_{MM}$  та  $\tau_{XP} = (\tau_{\epsilon} + \tau_{mat})$  - часове розширення імпульсної послідовності за рахунок міжмодових і хроматичних дисперсійних явищ у світловоді.

Міжмодова дисперсія загалом відсутня у світловодах одномодового типу. В цьому випадку розмиття імпульсної послідовності відбувається головним чином внаслідок наявності дисперсії хроматичного типу базової-основної моди.

Поширення основної моди типу  $HE_{11}$  або  $LP_{01}$  супроводжується дисперсією пов'язаною структурою матеріалу хвилеводу та безпосередньо хвилеводною дисперсією [].

$$\sigma_{\epsilon H} = \frac{\sigma_{\lambda} \cdot L}{\lambda} \cdot \left| \lambda \frac{dt}{d\lambda} \right| = 2 \cdot \pi \frac{\sigma_{\lambda}}{\lambda^2} \cdot \frac{L}{c} \cdot \left| \frac{d^2\beta}{dk^2} \right| \quad (3.9)$$

У формулі 3.9 використано наступні позначення:  $t$  - коефіцієнт групового сповільнення головної моди;  $\lambda$  - середня довжина хвилі випромінювання;  $\beta$  - повздожня стала поширення моди типу  $HE_{11}$  або  $LP_{01}$ .

Залежність яка пов'язує  $\beta$  з значенням довжини оптичного випромінювання називають дисперсійною характеристикою. Прийнято розглядати такий вид характеристики в нормованому стані у вигляді сталої

										Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						

поширення як залежність від нормованої частоти у вигляді:  $b = F(V)$ .

$$b = \frac{\left(\frac{\beta}{k}\right)^2 - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \quad (3.10)$$

Тут  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  - відповідно діелектричні проникненості центрального світловода і оболонки.

Тоді:

$$n_1 = \sqrt{\varepsilon_1}; n_2 = \sqrt{\varepsilon_2} \quad (3.11)$$

Таблиця 3.4 – Результати розрахунку апертури та приведеної частоти у залежності від довжин хвиль вздовж світловоду

$\lambda$ , мкм	NA	V
0,8	0,118143	3,94338
0,9	0,117625	3,48988
1,0	0,117254	3,13104
1,1	0,116979	2,83968
1,2	0,116769	2,59838
1,3	0,116606	2,39516
1,4	0,116477	2,22162
1,5	0,116372	2,07167
1,55	0,116328	2,00405
1,6	0,116287	1,94074
1,7	0,116216	1,82547
1,8	0,116157	1,72319

Визначимо значення середньоквадратичного розмиття моди.

$$\varepsilon(p) = \varepsilon_2 + f(p) \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \quad (3.12)$$

Розглянемо формулу для розрахунку нормувальної координату радіальної складової  $\rho = \frac{r}{a}$ , тут  $a$ - геометричний радіус серцевини світловоду. У випадку незначних значень відносної різниці показників заломлення використовуємо

нормувальну характеристику яка визначається лише профілем діелектричної проникненості.

$$f(p) = \frac{\varepsilon(p) - \varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_2} \quad (3.13)$$

Коефіцієнт поширення:

$$\beta = k \left\{ n_2^2 - (n_1^2 - n_2^2) b \right\}^{1/2} \approx k n_2 (1 + b \Delta) \quad (3.14)$$

Визначаємо похідну:

$$\frac{d\beta}{dk} = \frac{\left\{ n_2 \cdot N_2 + \left( b + \frac{1}{2} \cdot V \frac{dVb}{dV} \right) \cdot (n_1 \cdot N_1 - n_2 \cdot N_2) \right\}}{\left\{ n_2^2 + (n_1^2 - n_2^2) \cdot b \right\}^{1/2}} \quad (3.15)$$

Вираз для розрахунку внутрішньомодової дисперсії після диференціювання (3.15):

$$\sigma_{\text{вн}} = \sigma_{\lambda} \cdot L \cdot |T_1 + T_2 + T_3|,$$

де  $T_1$  - складова яка визначає матеріальну дисперсію;  $T_2$  - складова яка визначає хвильоводну дисперсію;  $T_3$  - складова що визначає дисперсійні характеристики профілю показника заломлення;  $L$  - будівельна довжина оптичного світловоду;  $\sigma_{\lambda}$  - значення ширини спектральної лінії оптичного джерела.

Визначаємо складову матеріальної дисперсії:

$$T_1 = \frac{\lambda}{c} \cdot \left[ A(V) \cdot \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} + [1 - A(V)] \cdot \frac{d^2 n_2}{d\lambda^2} \right], \quad (3.16)$$

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

Визначаємо хвильоводної дисперсії:

$$T_2 = \frac{n \cdot \Delta}{c \cdot \lambda} \cdot B(n) \cdot V \frac{d^2 V \cdot b}{dV^2}, \quad (3.17)$$

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

Визначаємо складові показників заломлення:

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

$$C(n) = 1 - \frac{\lambda}{n_2} \cdot \frac{dn_2}{d\lambda} - \frac{\lambda}{4 \cdot \Delta} \cdot \frac{d\Delta}{d\lambda}, \quad (3.18)$$

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

Функції для апроксимації визначимо наступним чином:

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

$$\frac{d(V \cdot b)}{dV} = \frac{-4,161 + 12,07 \cdot V - 7,1 \cdot V^2 + V^3}{7,599 - 3,999 \cdot V - 3,9 \cdot 10^{-6} \cdot V^2} \quad (3.19)$$

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

Отримані результати функцій апроксимації зведемо до таблиці 3.5.

Для робочої довжини хвилі функціонування ВОЛПІ отримано в процесі розрахунку наступні значення:

$$T_1 = -16,40466 \text{ пс/км} \times \text{нм};$$

$$T_2 = 4,42184 \text{ пс/км} \times \text{нм};$$

$$T_3 = -0,0155206 \text{ пс/км} \times \text{нм}.$$

Проводимо розрахунок питомої дисперсії:

$$\frac{\sigma_{\text{вн}}}{\sigma_{\lambda} \cdot L} = |T_1 + T_2 + T_3| = T. \quad (3.20)$$

$$\frac{\sigma_{\text{вн}}}{\sigma_{\lambda} \cdot L} = |-11,997661| = 11,997661 \left( \frac{\text{пс}}{\text{км} \times \text{нм}} \right).$$

Кім того, для значення хроматичної дисперсії отримали в залежності від довжини хвилі випромінювання на довжині 1,33 мкм - 0,0204 пс/км×нм на

						ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			



інтерференційні явища, а отже підвищується кількість помилково прийнятих бітів. Згідно до вимог ТЗ максимальне значення дисперсії для розрахованої лінії складає 3500пс/км.

Розрахуємо максимальну дожину ділянки поновлення сигналу:

$$L_{ДР} \leq \frac{\sigma}{\sigma_1} \quad (3.21)$$

$$L_{ДР} \leq \frac{3500 \frac{\text{пс}}{\text{км}}}{11,997661 \frac{\text{пс}}{\text{км} \times \text{км}}} = 291,723 \text{ км}$$

При проектування ВОЛПІ звичайно задається ймовірність бітової помилки. Для певного типу приймального модуля встановлюється значення граничного рівню прийнятого сигналу  $P_{\phi \text{ min}}$ .

Проведемо обґрунтування довжини ділянки поновлення сигналів у ВОЛПІ саме з цих – енергетичних міркувань.

Визначаємо рівень оптичного сигналу на вході приймального модуля:

$$P_{\Phi 1} = P_{пер} - P_{зат}, \quad (3.22)$$

де  $P_{пер}$  - потужність джерела оптичного сигналу (лазерного діоду);  $P_{зат}$  показник загальних втрат в лінії. При визначенні цього показника враховувались втрати у волоконному світловоді, втрати у конекторах та зварних муфтових з'єднаннях відрізків кабелю.

Враховуємо будівельні довжини кабелю 0,5...2,5км та визначаємо число сполучених ділянок на тривалості ділянки відновлення сигналів тобто на ділянці регенерації.

$$m = \frac{L_{P1}}{l_{БД}} + 1 \quad (3.23)$$

Позначаємо за  $q$  кількість конекторів, нерознімні -  $m - q$ . Відповідно втрати позначимо як  $\alpha_K$  та  $\alpha_{нс}$ .

$$P_c = \alpha_{нс} \left( \frac{L_{P1}}{l_{СТР}} + 1 - q \right) + \alpha_K \cdot q \quad (3.24)$$

						ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			



$l_{\text{БУД}}$  – барабанна довжина кабельної лінії,  $l_{\text{БУД}} = 1,84\text{км}$  [6];

$\Pi$  – значення енергетичного потенціалу ВОЛПІ, (використані оптичні інтерфейси типу V0,V1,V2).

Потрібно врахувати наступні обставини. При визначенні довжини ділянки відновлення сигналів при проектування ВОЛПІ потрібно щоб рівні сигналів які надходять на приймальний модуль не перевищували максимально-допустимий обмежений довжиною ділянки. Невиконання цієї вимоги приведе до виникнення спотворень і зміни умов експлуатації приймальних модулів. Для усунення таких явищ при забезпечення мінімальних довжин ліній, звичайно, використовують атенюатори оптичного типу.

Таким чином розраховуємо мінімально-допустиму довжину ділянки відновлення сигналів.

$$L_{P\text{min}} = \frac{(\Pi - P_{\text{АРП}}) - 2 \cdot \alpha_K}{\alpha + \frac{\alpha_{\text{НС}}}{l_{\text{СТР}}}} \quad (3.27)$$

У формулі (3.27)  $P_{\text{АРП}}$  діапазон дії системи автоматичного регулювання підсилення ( $P_{\text{АРП}} = 23\text{дБ}$ ).

Проведемо розрахунки за наведеними формулами та зведемо результати для граничних рівнів ділянки відновлення сигналу  $L_{\text{ДВ}2\text{max}}$  та  $L_{\text{ДВ}2\text{min}}$  у таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Довжини ділянок відновлення сигналів

	V0	V1	V2
$L_{\text{ДВ max}}$ , км	126,994	135,46	143,926
$L_{\text{ДВ min}}$ , км	73,374	81,84	90,307

Поведемо вибір ділянки відновлення сигналів в оптичній лінії. З цією метою потрібно провести порівняння результатів отриманих з розрахунків проведених за двома підходами, а саме за розрахунком із врахуванням часових характеристик та за енергетичними характеристиками. На кінцевому етапі потрібно обрати мінімальне значення ділянки регенерації.

$$L_{P1} = 291,723\text{км} > L_{P2} = 143,926\text{км}$$

Маємо довжини ділянок відновлення сигналів:

$$L_{P\text{max}} = 143,926; 135,46; 126,994\text{км}.$$

Для обраного типу інтерфейсу типу V0–4.2 використання регенераційних пунктів без обслуговування непотрібно.

### 3.4 Проектування конфігурації траси оптичної лінії зв'язку

Враховуємо проведені у пункті 3.3 кваліфікаційної роботи розрахунки з метою виконання вимог ТЗ встановлюємо у м. Тернопіль пункт відновлення сигналів з можливістю виведення 930КТЧ і одного телевізійного каналу. Таким чином тривалість ВОЛПІ Львів-Хмельницький становить – 239 км, між Львовом і Тернополем – 122 км, між Тернополем і Хмельницьким – 117 км. Отримана максимальна довжина ділянки відновлення сигналів складає 127 км, причому мінімальна ділянка відновлення сигналів складе 73,4 км і необхідність у розміщенні пункту відновлення сигналів без обслуговування відпадає. Таким чином необслуговуваних регенераційних пунктів на трасі не плануємо.

Ситуативна схема проєктованої ВОЛПІ може бути представлена рис. 3.4.

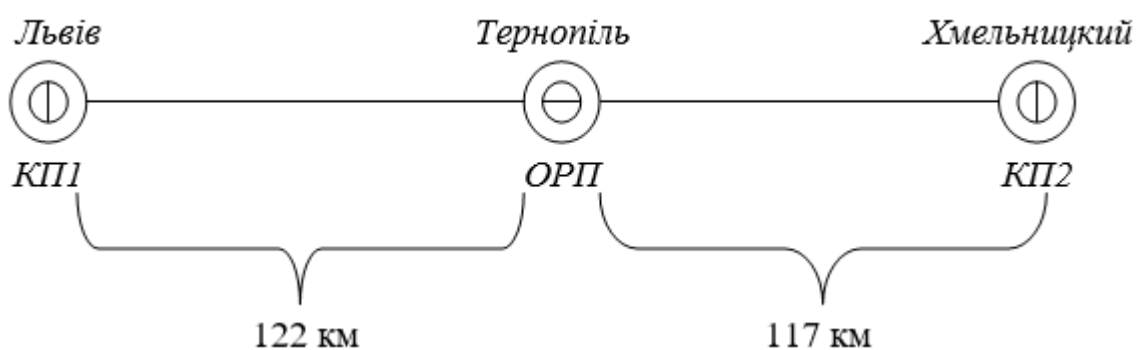


Рисунок 3.4 – Ситуативна схема траси оптичної лінії передачі інформації

Так як за умовами ТЗ між містами Львів та Тернопіль організовується 2968 каналів тональних частот та два передачі телевізійної інформації, між містами Тернопіль та Хмельницький - 930 каналів тональних частот і один телевізійний канал, розмістимо у Тернополі мультиплексорне обладнання типу Axd 620(2) із врахуванням конфігурації ADM із введенням виведенням.

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо призначення та склад обладнання яке розмістимо у регенераційному пункті із обслуговуванням.

Основним функціональним вузлом для зпроектованої лінії є SDH-мультиплексор. Основне призначення полягає у забезпечення з'єднань з низькошвидкісними плезіохронними потоками за допомогою входних портів. Такі пристрою відрізняються загальною гнучкістю та можуть застосовуватись для вирішення задач комутації, концентрації і регенерування. Основна перевага – наявність модульної конструкції яка дозволяє виконувати необхідні функції зміною складу модулів. SDH мультиплексори прийнято поділяти на термінального типу та типу введення/виведення.

Розглядаючи обладнання яке розмістимо на трасі акцентуємо увагу на призначенні термінального мультиплексорного обладнання. Такий пристрій виконує функції кінцевого пистрою SDH-лінії з потоками доступу, які загалом відповідні трибній конфігурації у межах синхронної і плезіохронної технології цифрових мереж рис. 3.5.

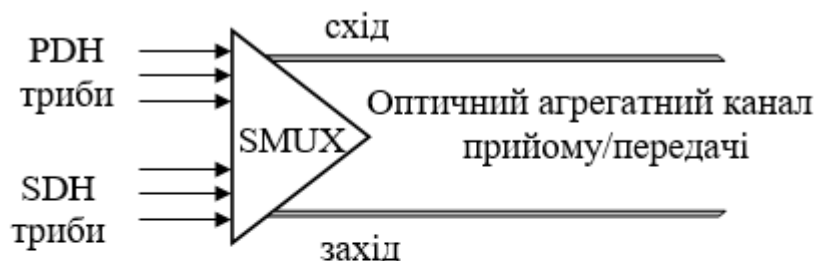


Рисунок 3.5-Синхронний мультиплексор (SMUX):  
термінальний мультиплексор ТМ або мультиплексор  
вводу/виводу ADM

Основне призначення такого мультиплексора – введення потоків або комутація таких каналних потоків з трибного ітерфейсу на вихід лінійного типу. Крім того, такий пристрій може бути застосований з метою комутації потоків з лінійного входу на трибний.

Мультиплесорне обладнання типу ADM потрібне може в цілому виконувати функції термінального мультиплексора, однак, додатково із

комутацією здатне забезпечити реверсне комутування потоків в двох напрямках, а також перемикання приймальних потоків на канали передавання з обидвох кінців (застосовують назви «східного» і «західного» типу) вразі виходу з ладу певного напрямку. Крім того, у випадку поломки основного мультиплексора існує можливість повернення потоку в обхідному напрямі. Такий мультиплексор доречний у кільцевих топологічних конфігураціях схем.

Тепер опишемо функції комутації. Загалом, здатність до здійснення перемикання потоків закладена безпосередньо у мультиплексорному обладнанні SDH. Такий стан речей створює можливості щодо розгляду безпосередньо мультиплексора як пристрою який здатен здійснювати локальну і внутрішню комутацію. На рис. 3.6. представлено схемну конфігурацію мультиплексора як пристрою який забезпечує процеси внутрішньої комутації.

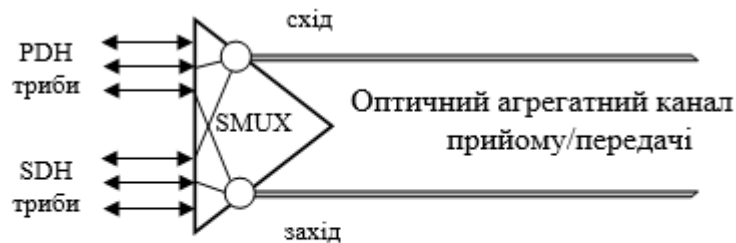


Рисунок 3.6-Мультиплексор вводу/виводу в режимі внутрішнього комутатора

Все це надає можливості апаратурі мультиплексування щодо проведення локальної комутації однотипних каналів та виконувати функції концентратора. На рис. 3.7 схемна реалізація можливості використання мультиплексорного обладнання для проведення локальної комутації.

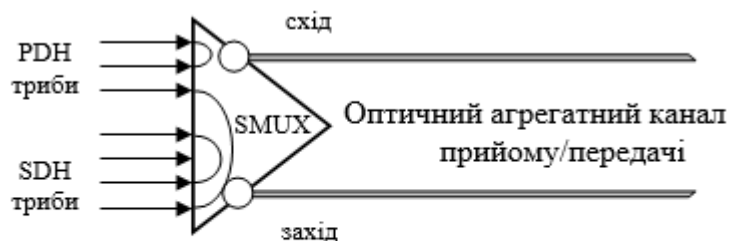


Рисунок 3.7 - Мультиплексор вводу/виводу в режимі локального комутатора



## ВИСНОВОК

В розрахунковому розділі кваліфікаційної роботи проведено визначення основних параметрів зв'язкової оптичної лінії. Зокрема, розраховано та обрано тип оптичного хвилеводу, числову апертуру та приведену нормовану частоту, основні типи дисперсій у оптичному світловоді, визначено максимальну та мінімальну довжину ділянок регенерації світлових потоків, здійснено проектування конфігурації траси оптичної лінії зв'язку. Загальна довжина траси між містами Хмельницький та Львів склала 239 км. Описано склад та призначення обладнання системи передачі інформації за технологією SDH для забезпечення вимог ТЗ.

					ДРТР.2017013.01.12.ПЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОКВИ

У кваліфікаційній бакалаврській роботі проведено проектування оптичної лінії передачі інформації між кінцевими пунктами Львів і Хмельницький. На підставі проведеного аналізу різних топологій трас була обрана оптимальна конфігурація траси на підставі низки критеріїв. Загальна довжина траси ВОЛП з одним пунктом поновлення сигналів склала 240 км. Організація передачі заданої у ТЗ кількості каналів тональної частоти здійснюється на основі обраної апаратури синхронної цифрової ієрархії.

У відповідності до умов ТЗ обрано типи оптичних кабелів ОКЛБ 2 і ОКЛБ 1. Проведено базові розрахунки, зокрема: довжини ділянки регенерації сигналу, дисперсійних характеристик світловолокна.

					ДРТР. 2017013.01.12.ПЗ	Арк.
Вип.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		58





## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1 Бойко Ю.М. Основи радіофотоніки: навч. посіб. Частина 1 / Ю.М. Бойко, В.А. Дружинін, М.П. Трембовецький, М.І. Рєзніков. – Київ: Каравела, 2020 – 184 с.
- 2 Пятін І.С. Мережі зв'язку та інформаційні системи: конспект лекцій / І.С. Пятін, Ю.М. Бойко, В.В. Мішан. – Хмельницький: ХНУ, 2010. – 142 с.
- 3 Соломенчук В.Д. Оптические транспортные сети / В.Д. Соломенчук, В.А. Мищенко, К.Н. Гура. – Киев: ЦПО ПАО «Укртелеком», 2014 – 294 с.
- 4 Бондаренко В.Г. Технічна експлуатація систем та мереж зв'язку / В.Г. Бондаренко. – Київ: ДУТ, 2013. – 676 с.
- 5 Каток В.Б. Волоконно-оптичні кабелі зв'язку / В.Б. Каток, І.Е. Руденко. – Київ: Логос, 2013. – 333 с.
- 6 Розорінов Г.М. Високошвидкісні волоконно-оптичні лінії зв'язку: навч. посіб. / Г.М. Розорінов, Д.О. Соловйов – Київ: Знання, 2014. – 196 с.
- 7 Кучеренко О.К. Фотоніка та оптоінформатика: навч. посіб. / О.К. Кучеренко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 216 с.
- 8 Дроздовський В.Б. Оптоелектроніка: конспект лекцій / В.Б. Дроздовський, Ю.М. Бойко. – Хмельницький: ХНУ, 2005. – 182 с.
- 9 Склярів О.К. Волоконно-оптичні мережі та системи зв'язку: навч. посіб. / О.К. Склярів. - Санкт-Петербург: Лань, 2018 – 268 с.
- 10 Осадчук В.С. Волоконно-оптичні системи передачі. навч. посіб. / В.С. Осадчук, О.В. Осадчук — Вінниця: ВНТУ, 2005. — 225 с.
- 11 Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. учеб. пособ. / В.Г. Фокин — Москва: Эко-Трендз, 2008 – 271 с.
- 12 Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптичні мережі та системи зв'язку / Р.Р. Убайдуллаев. - Москва: Эко-Трендз, 2001 – 267 с.
- 13 Цифрові системи передачі, комутації та управління: навчальний посібник / С.І. Приходько, О.С. Жученко, О.В. Северінов, О.М. Усачов; За заг. ред. В.І. Басова. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 270 с.

					ДРТР. 2017013.01.12.ПЗ	Арк.
Вит.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

14 Шарангович, С. Н. Многоволновые оптические системы связи: учеб. пособ. / С. Н. Шарангович. — СПб.: Лань, 2019. — 120 с.

15 Гордиенко В.Н. Оптические телекоммуникационные системы / В.Н. Гордиенко. В.В. Крухмалев, А.Д. Моченов, Р.М. Шарафутдинов. — Москва: Горячая линия-Телеком, 2011. — 368 с.

16 Субботин Е.А. Методы и средства измерения параметров оптических телекоммуникационных систем / Е.А. Субботин. — Москва: Горячая линия-Телеком, 2016. — 224 с.

17 Кучеренко, О. К. Волоконна і інтегральна оптика [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. К. Кучеренко ; НТУУ «КПІ». — Електронні текстові дані (1 файл: 6,49 Мбайт). — Київ : НТУУ «КПІ», 2012. — Назва з екрана.

14 Жирар А. Руководство по технологии и тестированию систем WDM / А. Жирар; пер. сангл. — Москва: ЕХРО, 2001. - 252 с.

15 ГСТУ 45.017 – 2001. Системи передавання волоконно-оптичні. Системи зі спектральним розділенням каналів та оптичними підсилювачами. Терміни та визначення. — Київ: 2002.

16 КСТ 2.5052-2011. Експлуатація волоконно-оптичних систем передавання з часовим (TDM) та спектральним (WDM) розподіленням каналів на телекомунікаційних мережах ВАТ «Укртелеком». Інструкція. — Київ: 2011.

17 ITU-T G.625 (06/2005). Characteristics of Single Mode Optical Fibre and Cable — Режим доступу: <http://handle.itu.int/11.1002/1000/13076> (дата звернення: 30.05.2021).

18 ITU-T G.694.1 (06/2002). Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid. - Режим доступу: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1/en> (дата звернення: 30.05.2021).

19 ITU-T G.694.2 (06/2002). Spectral grids for WDM applications: CWDM frequency grid. - Режим доступу: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.1/en> (дата звернення: 30.05.2021).

20 ITU-T G.870/Y.1352 (06/2004). Terms and definitions for Optical Transport Networks (OTN). - Режим доступу: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.870/en> ((дата звернення: 31.05.2021).

21 Boiko J. et al. Effectiveness Improvement Method for Signal Processing in Optical Telecommunication //2018 International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications. Science and Technology (PIC S&T). – IEEE, 2018. – С. 777-782.

22 Zhu M. et al. Low-latency synchronous clock distribution and recovery for DWDM-OFDMA-based optical mobile backhaul //Journal of lightwave technology. – 2014. – Т. 32. – №. 10. – С. 2012-2018.

23 Pavlovs D. et al. Comparison of power efficiency and signal regeneration impact in the SLR DWDM transmission systems with different spectral band //2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium-Fall (PIERS-FALL). – IEEE, 2017. – С. 1122-1127.

24 Turza K., Krehlik P., Śliwczyński Ł. Long haul time and frequency distribution in different DWDM systems //IEEE transactions on ultrasonics, ferroelectrics, and frequency control. – 2018. – Т. 65. – №. 7. – С. 1287-1293.

25 Kachhatiya V., Prince S. Analysis of dense wavelength division multiplexed passive optical network (DWDM-PON) //2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP). – IEEE, 2017. – С. 1974-1978.

26 Бойко, Ю.М. Механізми підвищення ефективності функціонування оптоелектронних пристроїв телекомунікаційних систем [Текст] / Ю. М. Бойко, О. І. Єрмоєнко, М. В. Коротун // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – №4. – С. 105-115.

27 Бойко Ю.М. Особливості визначення затухання при оптичній рефлектометрії волоконних світловодів / Ю.М. Бойко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 82–90.

28 Шинкарук О.М. Основи функціонування багатоканальних систем передачі інформації : навч.

					ДРТР. 2017013.01.12.ПЗ	Арк.
Вит.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

посіб. для ВНЗ / О.М. Шинкарук, Ю.М. Бойко, І.І. Чесановський. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – 231 с.

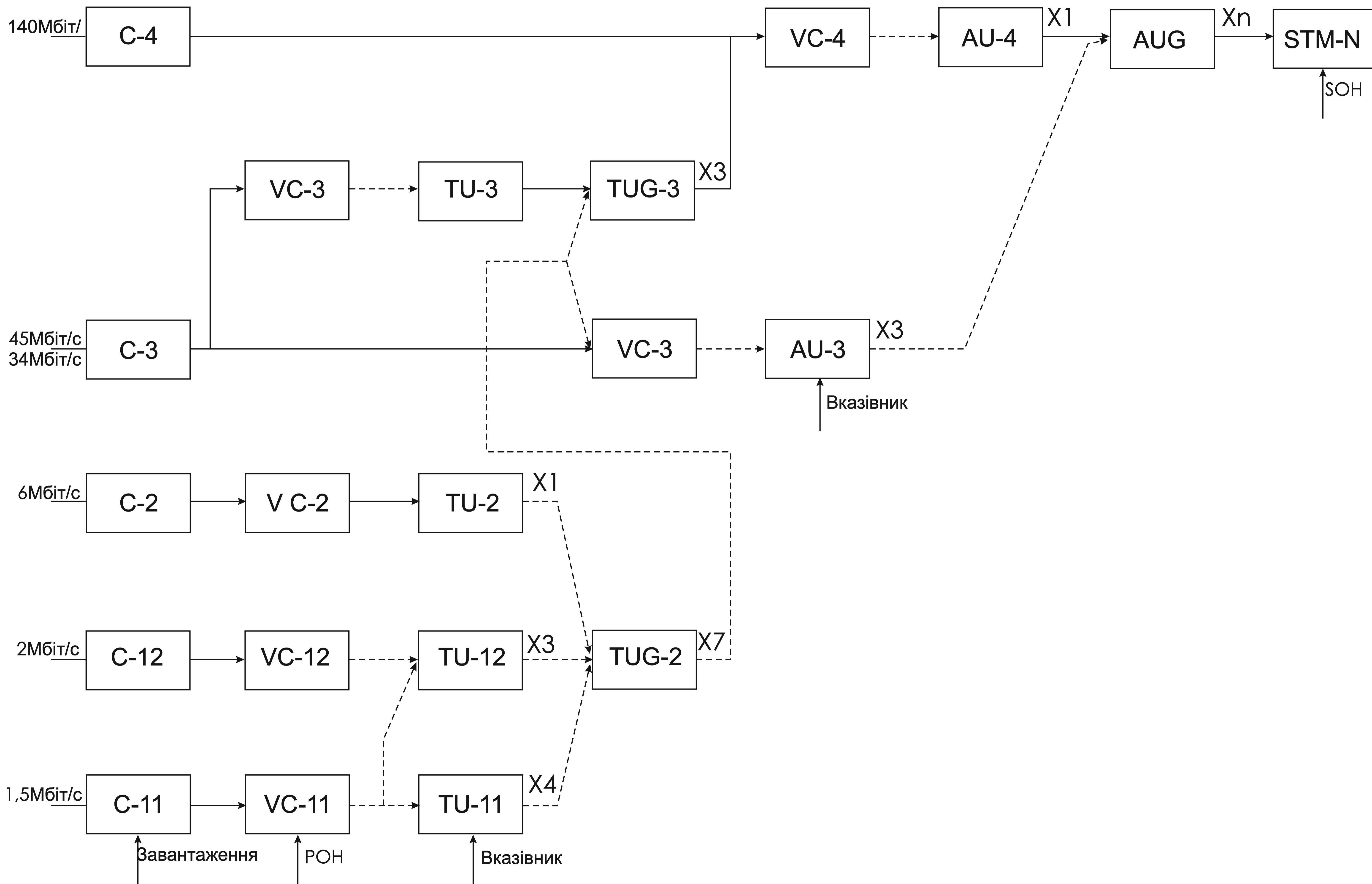
29 Бойко Ю. М. Теоретичні аспекти підвищення завадостійкості й ефективності обробки сигналів в радіотехнічних пристроях та засобах телекомунікаційних систем за наявності завад : монографія / Ю. М. Бойко, В. А. Дружинінін, С. В. Толюпа. - Київ : Логос, 2018. - 227 с.

30 Parkhomey I. et al. Engineering Practices of Determining Transmission Capacity and Delay of Interconnecting Line Taking into Account its Configuration and Cost //Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics (IJEI). – 2020. – Т. 8. – №. 3. – С. 551-559.

					ДРТР. 2017013.01.12.ПЗ	Арк.
Вит.	Аркуш	№ Докум.	Підпис	Дата		

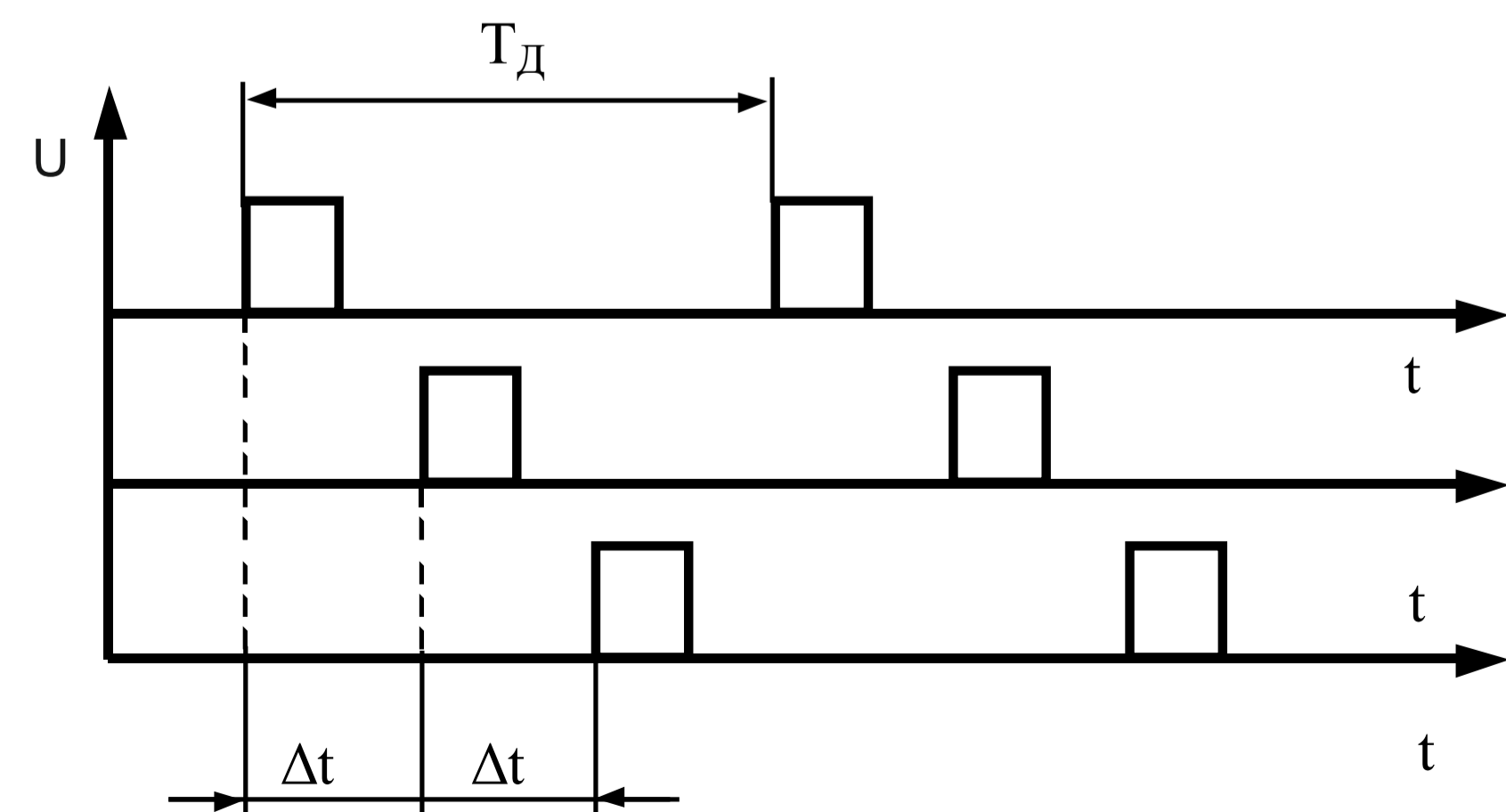
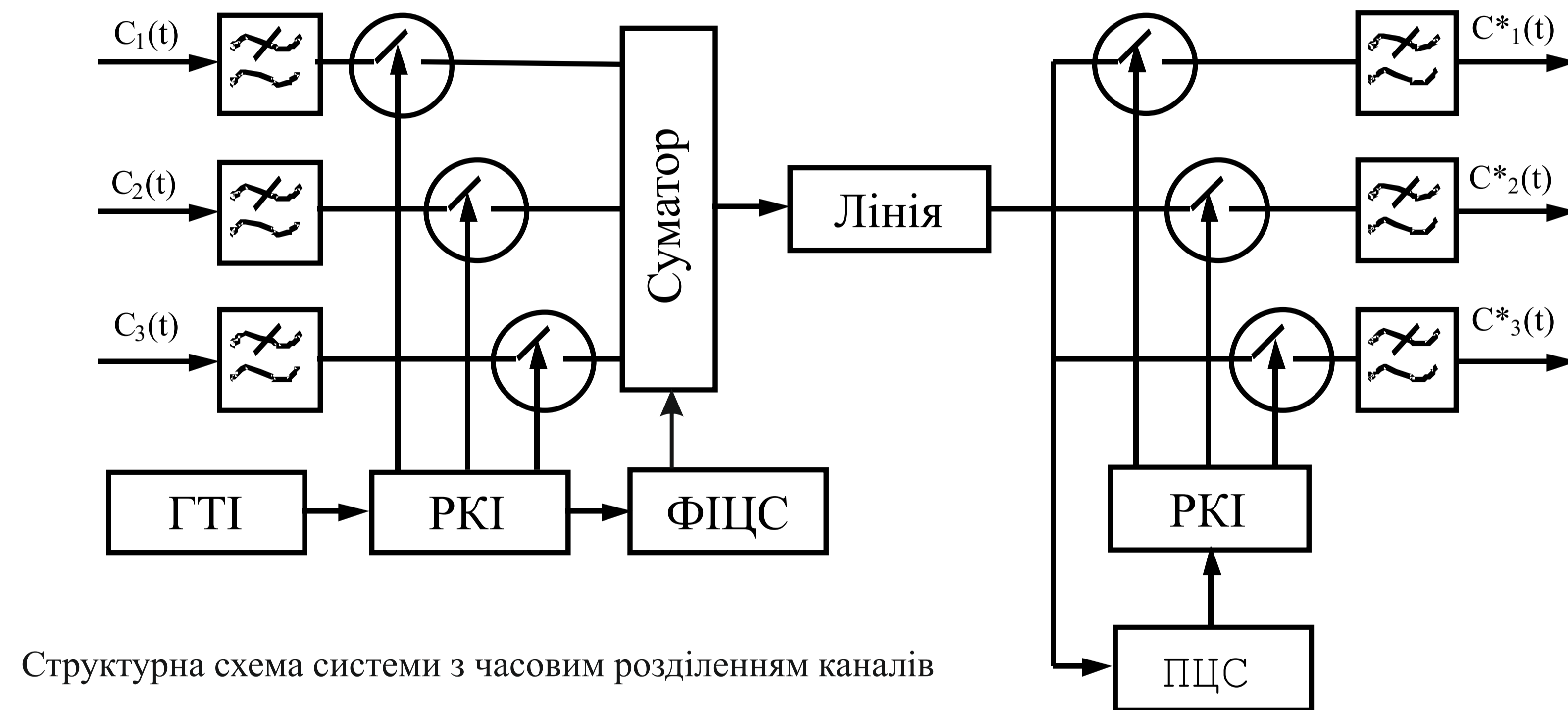
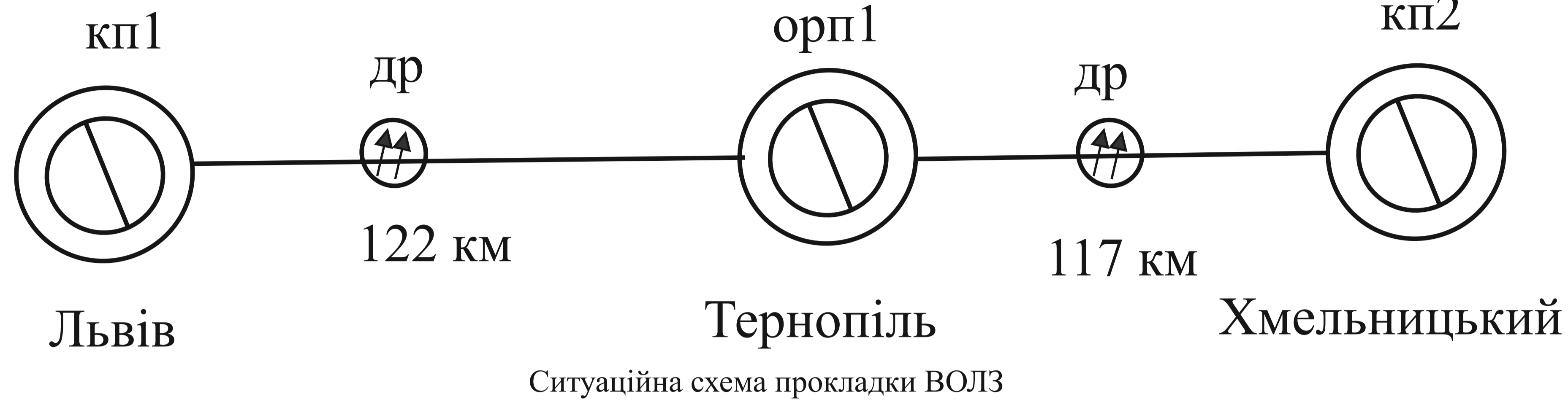
### Плакат 3

### Процес завантаження цифрового потоку в синхронні транспортні модулі (STM-N)

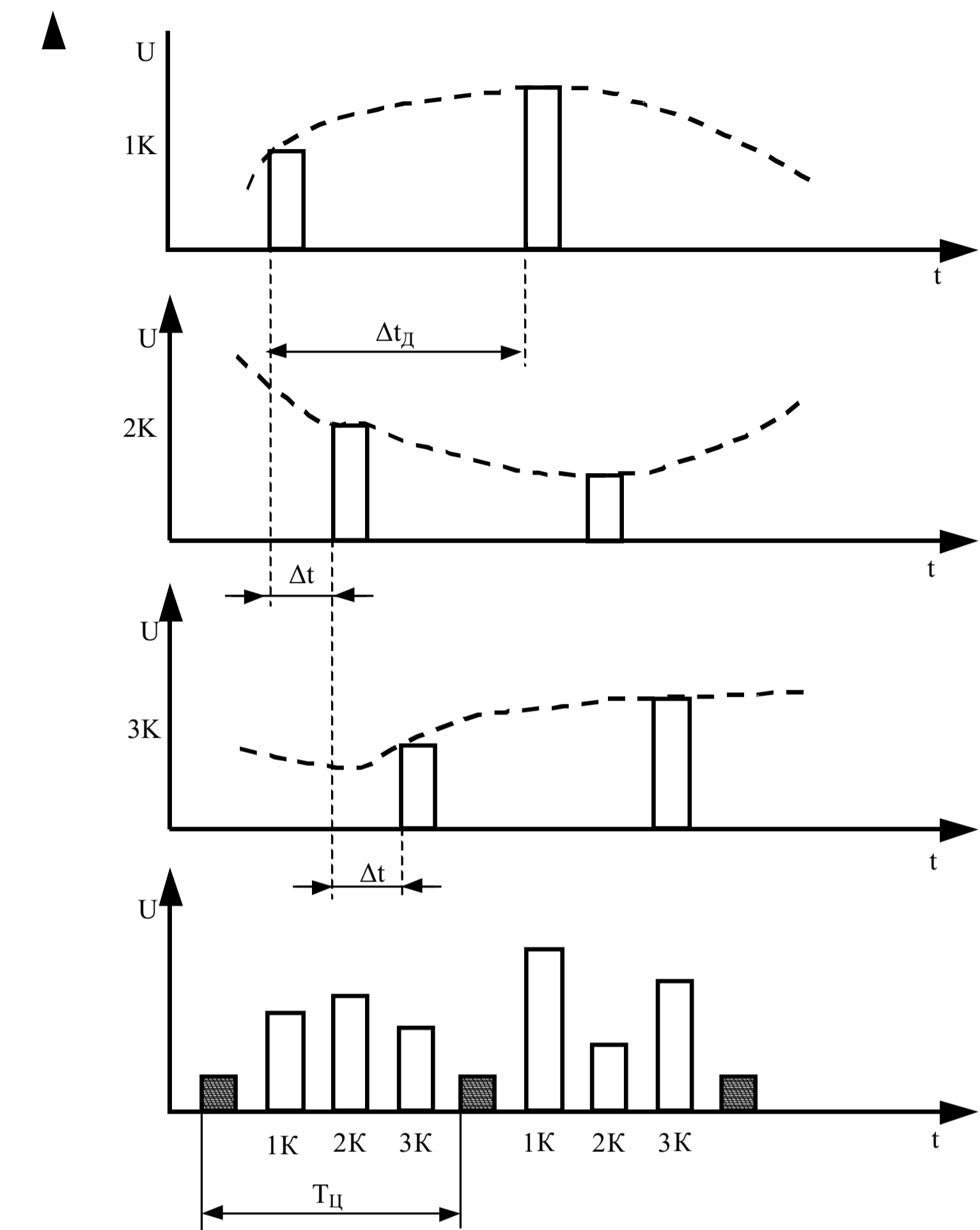


## Плакат 2

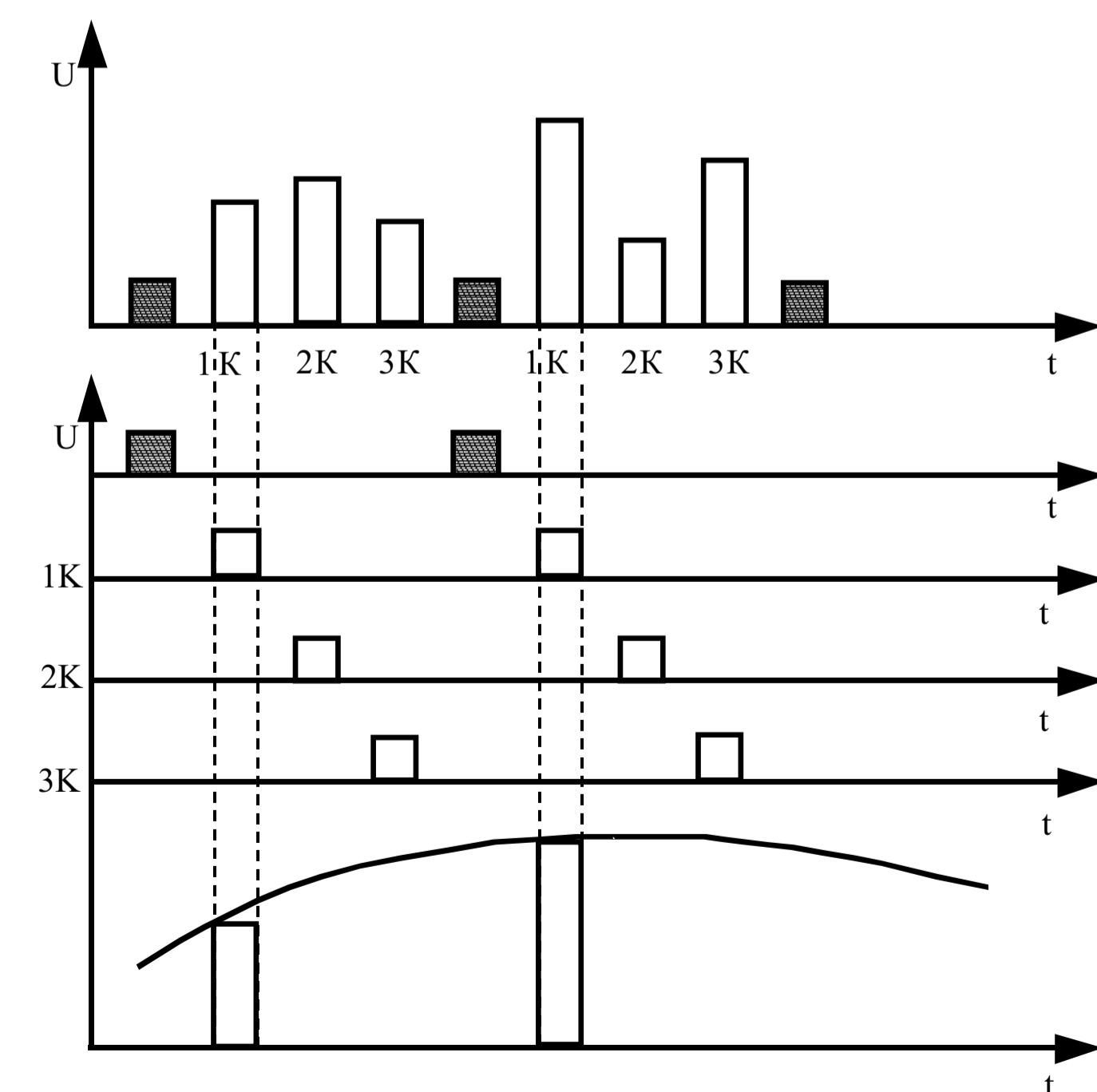
### Ситуаційна схема прокладки траси ВОЛЗ. Структурна схема системи з ЧРК та часові діаграми формування і розділення групового сигналу



Послідовність імпульсів керування від РКІ



Часові діаграми формування групового сигналу в системах з ЧРК



Часові діаграми розділення каналних сигналів в системах з ЧРК

# Плакат 1

## Схеми побудови ВОСП на основі SDH та PDH

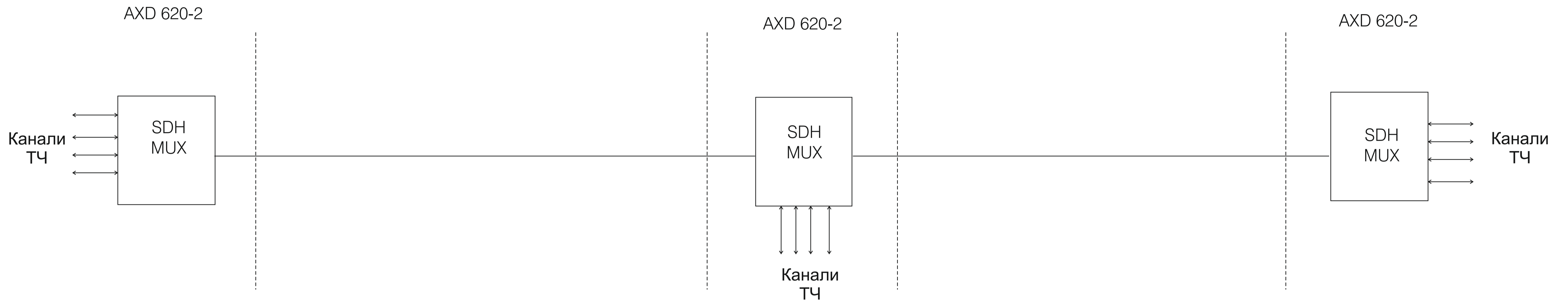


Схема побудови ВОСП на основі SDH

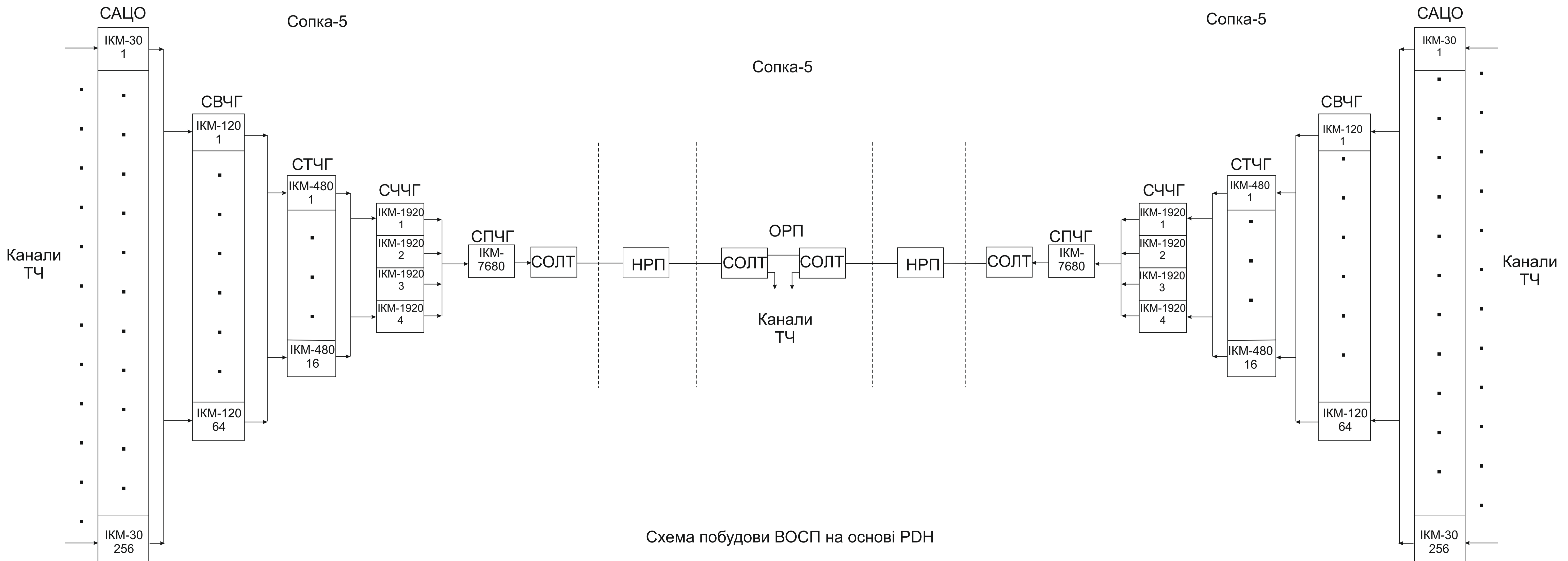


Схема побудови ВОСП на основі PDH

## **Рецензія**

### **опонента на бакалаврську кваліфікаційну роботу виконану за темою «Проектування оптико-волоконної міжміської лінії передачі інформації» студентки гр. TP-17-1 Пелехатої І.І.**

В кваліфікаційному проєкті студентки Пелехатої І.І. проведено проектування ВОЛПІ між пунктами Львів-Хмельницький. В результаті аналізу декількох варіантів трас була вибрана траса що минає через наступні населені пункти: Львів-Золочив-Зборів-Тернопіль-Волочиськ-Війтівці-Хмельницький. Довжина проєктованої траси 239 км. Для організації 3928 КТЧ використовується ЦВОСПІ AXD 620-2. Необхідна кількість ОК з урахуванням запасів дорівнює 244,4 км.

Для організації передачі цифрових потоків, згідно завдання, була вибрана ВОЛПІ STM-4 SDH на основі апаратури AXD 620-2 SDH. Компактний універсальний мультиплексор AXD 620-2 (STM-4) здатний працювати на усіх рівнях ієрархії мультиплексування SDH.

Вибрано тип кабелю магістральної ВОЛПІ між містами Львів-Хмельницький, марки ОКЛБ-2 (одномодовий оптичний кабель), який може бути використаний при прокладанні в ґрунт і через річки, що вимагає вибрана для проектування траса. Робоча довжина хвилі 1530 нм, мінімальне погонне згасання кабелю  $\alpha=0,3$  дБ/км.

В процесі проектування волоконної лінії передачі інформації виконано наступні етапи:

- вибір траси (використовувались стандартні критерії вибору: траса прокладається вздовж автомагістралей, мінімум перетину водних шляхів, доступ до апаратури ВОСПІ тощо);
- вибір системи передачі на основі технічного завдання на кваліфікаційний проєкт видане керівником;
- вибір оптичного кабелю, який враховує особливості траси;
- розрахунок основних параметрів траси: параметрів волоконного світловоду дисперсії, довжини регенераційної ділянки.

В цілому проєкт волоконної лінії між містами Львів та Хмельницький виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних технологій телекомунікацій, а студентка Пелехата І.І. заслуговує оцінки **«відмінно»**.

**Опонент: к.т.н., доцент  
кафедри фізики та електротехніки**



**О.І. Єрьоменко**

**Відгук на кваліфікаційну роботу виконану за темою  
«Проектування оптико-волоконної міжміської лінії передачі інформації»  
студентки гр. ТР-17-1 Пелехатої І.І.**

У кваліфікаційному проєкті студентки Пелехатої І.І. розглядаються питання проектування волоконно-оптичної міжміської лінії передачі інформації між населеними пунктами Хмельницький та Львів. В ході виконання кваліфікаційного проєкту студентка Пелехата І.І. провела аналітичний огляд літературних джерел де встановила особливості побудови та проектування сучасних волоконно-оптичних ліній зв'язку, були з'ясовані основні вимоги щодо типів волоконно-оптичних систем передачі інформації, принципи організації процесу групоутворення при передачі оптичних багатоканальних повідомлень. На підставі аналізу отриманих даних, був вибраний тип волоконно-оптичної системи передачі інформації на основі синхронної цифрової ієрархії, встановлено склад та кількість одиниць необхідного обладнання. У розділі який стосується вибору та обґрунтуванню траси прокладання волоконно-оптичної лінії, системи передачі, типу кабелю описано вибір топології траси, обрано тип волоконно-оптичної системи передачі інформації. Проведено опис технічних можливостей системи передачі, з'ясовано марку кабелю та принципи його прокладки.

З метою організації передачі цифрових потоків, була вибрана оптична система передачі рівня STM-4 SDH на базі апаратури AXD 620-2 SDH. Компактний універсальний мультиплексор AXD 620-2 (STM-4) здатний працювати на усіх рівнях ієрархії мультиплексування SDH.

Для передачі цифрових потоків вибрано тип кабелю магістральної оптичної системи марки ОКЛБ-2 (одномодовий оптичний кабель) який може бути використаний при прокладці в ґрунт і через річки, у відповідності до структури траси.

У розрахунковому розділі проведено визначення основних параметрів зв'язкової оптичної лінії, розрахунок дисперсійних характеристик світловоду, розрахунок ділянок регенерування сигналу на оптичній лінії, проектування конфігурації траси оптичної лінії зв'язку.

В цілому під час роботи над кваліфікаційним проєктом студентка Пелехата І.І. проявила себе як грамотний спеціаліст в галузі телекомунікацій, показала вміння та навички і набуті компетентності в розрахунках, в складанні документації.

Кваліфікаційний проєкт виконано на високому технічному рівні, він має безперечну актуальність в області сучасних телекомунікацій, а студентка Пелехата І.І. заслуговує оцінки **«відмінно»**.

**Професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки**



**Бойко Ю.М.**

Ім'я користувача:  
Kafedra telekom\_radiotechniki

ID перевірки:  
1008167621

Дата перевірки:  
03.06.2021 23:27:18 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet

Дата звіту:  
03.06.2021 23:28:16 EEST

ID користувача:  
100005656

Назва документа: Пелехата І.І. - ТР-17-1

Кількість сторінок: 66 Кількість слів: 9809 Кількість символів: 76731 Розмір файлу: 4.83 MB ID файлу: 1008245971

## 0.99% Схожість

Найбільша схожість: 0.22% з Інтернет-джерелом ([http://ki.khnu.km.ua/wp-content/uploads/sites/35/2020/06/Sylabus\\_Fo](http://ki.khnu.km.ua/wp-content/uploads/sites/35/2020/06/Sylabus_Fo)).

0.99% Джерела з Інтернету

68

Сторінка 68

Пошук збігів з Бібліотекою не проводився

## 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

31

Завідувачу кафедри телекомунікацій  
та радіотехніки  
д.т.н., професору Бойку Ю.М.  
здобувача вищої освіти  
Пелехатої І.І.  
ФПКТС, гр. ТР-17-1


### ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений. Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

20 травня 2021 р.  
дата

  
підпис

## РІШЕННЯ КАФЕДРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ ТА РАДІОТЕХНІКИ

### ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Проектування оптико-волоконної міжміської лінії передачі інформації

Автор: Пелехата Івана Іванівна

Спеціальність: 172 Телекомунікації та радіотехніка

Науковий керівник: д.т.н., професор Бойко Юлій Миколайович

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту.	-
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	відповідає
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	-
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	-
5	Інше:	-

Підтвердження: Виявленні запозичення не є плагіатом так як розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження (є власні терміни, визначення тощо), складають 1% та мають посилання на приведений список літературних джерел.

«06» червня 2021 р.

Науковий керівник



Бойко Ю.М.

Завідувач кафедру ТР



Бойко Ю.М.