

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**  
**ДО САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ**  
**з вивчення дисципліни**  
**«ОПТИЧНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ»**  
**для студентів спеціальності**  
172 – Телекомунікації та радіотехніка

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Методичні вказівки  
до самостійної роботи студентів  
з вивчення дисципліни  
«Оптичні транспортні системи та мережі»  
для студентів спеціальності  
172 – Телекомунікації та радіотехніка**

Вінниця 2018

Рекомендовано до видання Методичною Радою Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 1 від 20. 09. 2018 р.)

Рецензенти:

**О. В. Осадчук**, доктор технічних наук, професор

**С. В. Тимчик**, кандидат технічних наук, доцент

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з вивчення дисципліни «Оптичні транспортні системи та мережі» для студентів спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка [Електронний ресурс]/ Уклад.: М. В. Васильківський. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – (PDF, 39 с.)

Методичні вказівки є комплексом рекомендацій навчально-методичного характеру з питань організації самостійної роботи студентів, виконання та захисту контрольної роботи з дисципліни «Оптичні транспортні системи та мережі». Наведено основні принципи побудови та використання волоконно-цифрових транспортних систем передавання з урахуванням сучасних технологій мультиплексування та обладнання оптичних транспортних мереж. В основі самостійної роботи лежить програма дисципліни, яка наводиться в даних вказівках і є дороговказом для опрацювання необхідних матеріалів. Наведено комплект тестових завдань, які студент може використати для самоперевірки. Призначений для студентів спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка.

*Навчальне самостійне електронне мережне видання*

Методичні вказівки до самостійної роботи студентів  
з вивчення дисципліни «Оптичні транспортні системи та мережі»  
для студентів спеціальності 172 – Телекомунікації та радіотехніка

Укладач: Микола Володимирович Васильківський

Оригінал-макет підготовлено М. Васильківським

Електронний ресурс PDF.

Підписано до видання 17.10.2018 р. Зам. № P2018-034

Видавець та виготовлювач - Вінницький національний технічний університет,

Інформаційний редакційно-видавничий центр. ВНТУ, ГНК, к.114,

Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021,

тел. (0432) 65-18-06.

press.vntu.edu.ua;

Email: irvc.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. Організація вивчення дисципліни.....	5
2. Загальні вказівки щодо організації самостійної роботи.....	10
3. Завдання для самостійної та індивідуальної роботи студентів.....	12
4. Контроль індивідуальної роботи та СРС.....	17
5. Тестові завдання.....	22
6. Методичні вказівки до написання контрольних робіт студентами заочної форми навчання.....	29
7. Питання до заліку з дисципліни «Оптичні транспортні системи та мережі».....	32
Перелік літератури.....	39

## ВСТУП

Сучасна реформа вищої освіти — це насамперед перехід від парадигми навчання до парадигми освіти, самоосвіти. Тому значно зростає роль самостійної роботи студентів. Самостійна робота студентів є основним засобом опанування навчального матеріалу у позааудиторний час. Студент, який хоче якомога краще оволодіти професією, має добре розуміти: на занятті викладач подає основи знань, навчає, як учити, виділяє ті ключові істини дисципліни, які пробуджують у молодій людини потяг до поглиблення й удосконалення усіх знань. Лише постійне самостійне навчання дає можливість якомога ближче підійти до вершини знань певної галузі, оволодіти такою сумою знань і вмінь, які б дали змогу заявити про себе як про професіонала.

Самостійна робота студентів є надзвичайно важливою складовою підготовки спеціалістів з напрямку “Телекомунікації”.

Самостійна робота має такі складові і форми їх оцінювання:

- підготовка та власне аудиторна робота під час лекційних та лабораторних занять, результати її оцінюються під час поточного контролю;
- виконання самостійних робіт у формі рефератів з конкретних проблем та складання письмових звітів на електронних або паперових носіях або усних доповідей;
- опрацювання програмного матеріалу зі змістового модуля та оцінка його результатів під час проміжного контролю;
- підготовка до колоквиуму або тестування;
- звіт про науково-дослідну роботу, результати якої можуть бути використані при написанні випускної роботи і за рішенням кафедри опубліковані.

**Метою дисципліни** є засвоєння необхідних знань з основ побудови оптичних транспортних систем та мереж, а також формування практичних навичок щодо особливостей налагодження та керування роботою волоконно-оптичних систем передачі.

Основними завданнями вивчення дисципліни «Оптичні транспортні системи та мережі» є формування теоретичних знань з основ є формування теоретичної бази, практичних навиків і представлення про:

- структуру оптичних цифрових телекомунікаційних мереж;
- призначення та будову компонентів оптичних транспортних систем;
- принципи контролю та управління оптичною транспортною мережею;
- методи та засоби вимірювань параметрів оптичної транспортної мережі.

## 1. ОРГАНІЗАЦІЯ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІНИ

В результаті вивчення основного матеріалу студенти повинні:

**знати:**

- матеріал програми курсу “Оптичні транспортні системи та мережі”;
- будову транспортної мережі;
- методи контролю роботи та усунення пошкоджень оптичної транспортної системи;
- методи вимірювання параметрів оптичних трактів цифрових систем передачі;
- володіти системотехнічним матеріалом.

**вміти:**

- логічно та послідовно викласти засвоєний ним матеріал;
- використовувати під час відповіді карти, схеми, діаграми та інші унаочнення;
- робити самостійні науково обґрунтовані висновки та узагальнення;
- аргументовано відстоювати свою точку зору та міркування;
- синтезувати структури багатоканальних систем передачі інформації з часовим і спектральним розділенням каналів;
- оцінювати характеристики та параметри основних компонентів ОТСМ;
- визначати основні показники ефективних і завадостійких кодів.

### Опис навчальної дисципліни

Таблиця 1.1 – Опис курсу

Найменування показників	Спеціальність, спеціалізація, освітньо-кваліфікаційний рівень	Характеристика навчальної дисципліни	
		денна форма навчання	заочна форма навчання
Кількість кредитів – 7	Галузь знань 17 – <u>Електроніка та телекомунікації</u> , радіоелектронні апарати та зв’язок (шифр і найменування)	Нормативна	
Модулів – 2	спеціальності <u>172 – Телекомунікації та радіотехніка</u>	<b>Рік підготовки:</b>	
Змістових модулів – 2		5	6

Індивідуальне науково-дослідне завдання (реферати, розрахункові, графічні, розрахунково-графічні роботи, контрольні роботи, що виконуються під час СРС (домашні контрольні роботи), курсові, дипломні проекти (роботи) та ін. визначаються робочим навчальним планом чи рішенням кафедри)	<b>освітня програма – Телекомунікації</b>	<b>Триместр</b>	
		2-й	2-й
Загальна кількість годин – 210		<b>Лекції</b>	
Тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних: 2 тр. – 4; самостійної роботи студента: 2 тр. – 7,5	Рівень вищої освіти: другий (магістр)	36 год.	16 год.
		<b>Практичні, семінарські</b>	
		9	4
		<b>Лабораторні</b>	
		27 год.	8 год.
		<b>Самостійна робота</b>	
		138 год.	182 год.
		Вид контролю: іспити	

### Примітка.

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної та індивідуальної роботи становить:

для денної форми навчання: 2 тр. – 31% - 69%,

для заочної форми навчання: 2 тр. – 10% - 90%.

### Організація навчального процесу за кредитно-модульною системою

Таблиця 1.2 – Вид контролю – іспит

Поточне тестування та самостійна робота																	Підсумковий тест (екзамен)	Сума	
2 триместр																			
Змістовий модуль 1									Змістовий модуль 2									26 балів	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16	T17	T18		
37 балів									37 балів										

T1, T2 ... T18 – теми змістових модулів.

Таблиця 1.3 – Оцінювання знань, умінь та навичок студентів з окремих видів роботи та в цілому по модулях (в балах)

Вид роботи	Модуль	
	1	2
1. Підготовка до лекційних занять і активна участь в них	4	4
2. Колоквіуми	14	14
3. Виконання та захист лабораторних робіт.	10	10
4. Контрольна робота	9	10
Всього	37	38
Іспит	25	

Таблиця 1.4 – Шкала оцінювання: національна та ECTS

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка ECTS	Оцінка за національною шкалою
		Екзамен, диференційований залік
90 - 100	<b>A</b>	відмінно
82 - 89	<b>B</b>	добре
75 - 81	<b>C</b>	
64 - 74	<b>D</b>	задовільно
60 - 63	<b>E</b>	
35 - 59	<b>FX</b>	незадовільно з можливістю повторного складання
0 - 34	<b>F</b>	незадовільно з обов'язковим повторним вивченням дисципліни



## Лекційний курс

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	<b>Змістовий модуль 1. Принципи побудови оптичних транспортних систем та мереж.</b> Основні задачі та принципи побудови оптичних транспортних мереж.	2
2	Структура оптичних цифрових телекомунікаційних мереж.	2
3	Характеристика ключових компонентів оптичних транспортних систем.	2
4	Технології мультиплексування в оптичних транспортних мережах.	2
5	Оптичні мультиплексори та демультимплексори.	2
6	Принципи будови та використання динамічних мультиплексорів.	2
7	Пасивні оптичні компоненти ВОСПІ.	2
8	Технології оптичних мереж доступу.	2
9	Компенсація хроматичної дисперсії в ВОЛЗ.	2
10	<b>Змістовий модуль 2. Контроль та управління оптичних транспортних систем та мереж.</b> Лінійні тракти оптичних транспортних систем.	2
11	Лінійні коди ВОСПІ та оцінка їх параметрів.	2
12	Активні квантово-електронні та волоконно-оптичні компоненти ОТМ.	2
13	Архітектури оптичних транспортних мереж.	2
14	Оптичні транспортні мережі на основі динамічних мультиплексорів.	2
15	Синхронізація в оптичних транспортних мережах.	2
16	Визначення параметрів оптичних каналів.	2
17	Система контролю та керування оптичною транспортною мережею.	2
18	Тестування та моніторинг ВОСПІ.	2

### Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми	Кількість годин
1	Дослідження роботи оптичного мультиплексора FOM-16	3
2	Дослідження системи моніторингу оптичного мультиплексора FOM-16.	3
3	Дослідження основних параметрів ВОЛТ за допомогою програми OptiPerformer 14.	3
4	Дослідження характеристик оптичних передавачів за допомогою програми OptiSystem 15.	3
5	Дослідження характеристик оптичних приймачів за допомогою програми OptiSystem 15.	3
6	Дослідження характеристик ВОЛЗ за допомогою програми OptiBPM 13.	3
7	Дослідження характеристик фотонних компонентів волоконно-оптичних мереж за допомогою програми OptiFDTD 13.	3
8	Дослідження характеристик оптичних волокон за допомогою програми OptiFiber 2 та оптичних фільтрів за допомогою програми OptiGrating 4.	3
9	Комп'ютерне моделювання функціонування когерентних оптичних інфокомунікаційних мереж.	3

## **2. ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ ЩОДО ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

### **Самостійна робота студента під час лекції.**

Лекційний матеріал призначається для спрямування студентів у найбільш раціональному напрямі щодо вивчення навчальної дисципліни і акцентуванні уваги на найбільш складних, вузлових питаннях навчальної дисципліни. Належне ведення конспекту під час лекції сприяє збереженню необхідної інформації та дає студенту змогу в подальшому проаналізувати її. За умови подання лекційного матеріалу в усній формі одночасно засвоюється до 20% інформації.

### **Робота над конспектами лекцій, планами лабораторних занять.**

При підготовці до практичних занять студент має спиратися на складений ним конспект лекції. При опрацюванні матеріалу лекції слід зіставити законспектований матеріал з планом практичного заняття, що міститься у методичних матеріалах для практичних занять або у навчально-методичному комплексі. Якщо у конспекті бракує матеріалу з окремих питань лекції або недостатньо розкриті деякі питання практичного заняття, або вони винесені на самостійне опрацювання, студент повинен звернутися до рекомендованих підручників, навчальних посібників і відповідних методичних матеріалів. Підготовку для лабораторного заняття найкраще здійснювати з використанням ПЕОМ зі встановленим на ньому відповідним програмним забезпеченням. За такої можливості слід використовувати інтерактивні довідкові системи програм *MS Office* та інформаційно-пошукові системи *Internet*.

**Вивчення навчального матеріалу за підручниками, навчальними посібниками, методичними вказівками, опрацювання матеріалу за першоджерелами, науковою і спеціальною літературою.**

Працювати із підручниками, навчальними посібниками, методичними вказівками, практикумами, науковою і спеціальною літературою незалежно від типу їх носія (паперового чи електронного) необхідно так, щоб отримати максимум теоретичних знань і навичок. Під час роботи з цими джерелами студент насамперед повинен ознайомитися з їх змістом, щоб визначити, чи потрібно опрацювати це джерело і чи стосується воно навчального курсу, що вивчається, і тільки після цього визначити послідовність його опрацювання і відібрати необхідний для вивчення матеріал із цього джерела (глави, розділи тощо). У разі роботи з інтерактивними електронними джерелами слід використовувати можливості навігації за документом, що надаються сучасними програмами, призначеними для читання електронних документів відповідних форматів (*MS Word, Adobe Reader, Adobe Acrobat* та ін.) і, особливо, переваги гіпертекстової технології подання навчального

матеріалу, а саме: за допомогою гіперпосилань знаходити відповіді на поставлені питання. При опрацюванні матеріалу необхідно з'ясувати сутність питання, що вивчається, не уникаючи при цьому визначення сутності незрозумілих чи незнайомих слів, термінів. Саме інтерактивні гіпертекстові електронні джерела (довідки в складі програмних продуктів, електронні посібники та словники) дають змогу конкретизувати терміни та визначення якнайшвидше. У процесі вивчення матеріалу необхідно аналізувати прочитане, порівнюючи з прослуханою та законспектованою лекцією, робити логічні висновки, позначати незрозумілі положення з метою їх подальшого з'ясування на практичному занятті. Бажано відпрацювати зручну для себе певну систему позначень (позначки на полях конспекту, підкреслення маркерами різних кольорів, доповнення конспекту альтернативними формулюваннями та посиланнями на інші джерела тощо) та фіксації опрацьованого матеріалу. Сучасні текстові редактори (насамперед *MS Word*) надають можливість створення електронного конспекту з примітками, виносками, коментарями та його роздрукування. Для самостійного поглибленого вивчення навчального матеріалу студенту слід звертатися до наукової та спеціальної літератури, яка може і не бути зазначена в навчально-методичному комплексі. Використання самостійно отриманих відомостей як у навчанні, так і на практиці, є, безперечно, цінним здобутком діяльності студента на шляху формування свого професійного потенціалу.

### **Робота з бібліотечними фондами та дистанційними джерелами з метою пошуку необхідної інформації.**

Знання з дисципліни «Оптичні транспортні системи та мережі» становлять основу для подальшого поглибленого засвоєння матеріалу з того чи іншого розділу. З позицій випереджаючої освіти навчання тільки за конспектом лекцій і основною літературою, зазначеною у навчальній програмі, є недостатнім. У більшості випадків належна підготовка вимагає вмінь швидко знаходити та опрацьовувати необхідний матеріал за першоджерелами, науковою і спеціальною літературою та коректно цитувати знайдене. Перелік такої літератури, як правило, наводиться у навчально-методичному комплексі навчальної дисципліни. Тому завдання студента зводиться до самостійного знаходження цих матеріалів шляхом пошуку у паперових або електронних фондах бібліотек, а також у різноманітних файлових архівах, базах даних та базах знань, доступ до яких здійснюється за допомогою відповідних сервісів *Internet*

### 3. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ ТА ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ

Підготовка до лекційних занять передбачає самостійне вивчення теоретичного матеріалу з кожної теми, наданого в основній та додатковій літературі, конспекті лекцій. При цьому необхідно звернути увагу на необхідність чіткого засвоєння основних термінів та визначень, розуміння їх змісту, обов'язкового аналізу використання теоретичних положень для розв'язання поставлених задач.

#### *Змістовий модуль 1. Принципи побудови оптичних транспортних систем та мереж.*

**Тема 1.** Основні задачі та принципи побудови оптичних транспортних мереж.

Вступ. Предмет, завдання та місце курсу «Оптичні транспортні системи та мережі» в системі технічних наук.

Типи оптичних транспортних мереж та особливості їх розвитку. Будова узагальненої структури оптичної системи передачі. Оптичні транспортні мережі на базі спектрального розподілу каналів. Структура оптичної транспортної ієрархії. Будова волоконно-оптичних ліній зв'язку.

*Література до теми 1*

Рекомендується література [1, 3, 6, 7].

**Тема 2.** Структура оптичних цифрових телекомунікаційних мереж.

Загальний опис моделей оптичних транспортних мереж. Модель транспортної мережі синхронної ієрархії. Модель оптичної транспортної мережі оптичної ієрархії. Архітектура оптичної мультисервісної транспортної платформи. Конфігурація однохвильових ВОСП-СЦІ. Оптичні транспортні системи з оптичним часовим ущільненням. ВОСПІ на базі xWDM. Топології оптичної мережі доступу.

*Література до теми 2*

Рекомендується література [4, 6, 7].

**Тема 3.** Характеристика ключових компонентів оптичних транспортних систем.

Структура мережного елементу оптичної транспортної мережі. Основні типи компонентів ВОСПІ. Лінійні інтерфейси оптичних транспортних мереж. Інтерфейси однохвильових оптичних систем передачі. Інтерфейси багатохвильових оптичних систем передачі. Особливості використання багатохвильових інтерфейсів.

*Література до теми 3*

Рекомендується література [1, 4, 5, 8].

**Тема 4.** Технології мультиплексування в оптичних транспортних мережах.

Оптичне мультиплексування низької щільності. Оптичне мультиплексування високої щільності. Архітектура DWDM-систем. Частотний план DWDM-систем. Використання DWDM-систем. Параметри технології CWDM-систем. Частотний план CWDM-систем. Умови використання CWDM-технологій.

*Література до теми 4*

Рекомендується література [2, 4, 5, 6, 7].

**Тема 5.** Оптичні мультиплексори та демультимплексори.

Призначення компонентів xWDM. Будова та використання DWDM мультиплексорів. Основні типи оптичних мультиплексорів та демультимплексорів. Динамічні оптичні мультиплексори вводу/виводу.

Основні типи термінальних мультиплексорів. Термінальний мультиплексор з лінійними портами WDM. Мультиплексори вводу/виводу з електричними та оптичними закінченнями ADM. Оптичний мультиплексор з функціями OADM/ROADM/OXC. Технологія оптичної транспортної мережі оптичної ієрархії.

*Література до теми 5*

Рекомендується література [3-7].

**Тема 6.** Принципи будови та використання динамічних мультиплексорів.

ROADM на основі дискретних компонентів. ROADM на основі хвильових блокіраторів. ROADM з використанням комутаторів типу MEMS. ROADM на базі PLC. ROADM на базі WSS. Оптичні кросові комутатори PXC. Компоненти ROADM. Порівняльна оцінка та рекомендації з використання мультиплексорів ROADM.

*Література до теми 6*

Рекомендується література [7, 13].

**Тема 7.** Пасивні оптичні компоненти ВОСПП.

Волоконно-оптичні розгалужувачі та об'єднувачі. Оптичні з'єднувачі. Волоконно-оптичні комутатори та перемикачі. Крос-комутатори оптичних каналів. Оптичні ізолятори. Волоконно-оптичні лінії затримки.

*Література до теми 7*

Рекомендується література [5, 6].

**Тема 8.** Технології оптичних мереж доступу.

Мікро-мережа SDH. Активні мережі Ethernet. Пасивні оптичні мережі. Гібридні волоконно-коаксіальні мережі. Принципи побудови оптичних мереж доступу. Особливості проектування оптичних мереж доступу. Особливості проектування гібридної мережі доступу.

*Література до теми 8*

Рекомендується література [6, 8, 15].

**Тема 9.** Компенсація хроматичної дисперсії в ВОЛЗ.

Необхідність компенсації дисперсії в ВОЛЗ. Загальна характеристика основних типів компенсаторів хроматичної дисперсії. Волоконні розподілені компенсатори дисперсії. Дискретні компенсатори на Брегівських решітках. Динамічні компенсатори дисперсії.

*Література до теми 9*

Рекомендується література [1, 6, 14, 15].

## ***Змістовий модуль 2. Контроль та управління оптичних транспортних систем та мереж.***

**Тема 10.** Лінійні тракти оптичних транспортних систем.

Базові структури лінійних трактів оптичних систем передачі. Вимоги до лінійних трактів систем із спектральним ущільненням. Математичне моделювання процесів в ВОСП. Оцінювання швидкодії компонентів ВОСП. Програма розрахунку параметрів інерційності ВОЛТ.

Регенерування сигналів в ВОСП. Структура лінійного ретранслятора в ВОСП. Будова оптичних регенераторів. Типи оптичних ретрансляторів та хвилевих конвертерів. Лінійний регенератор СЦІ. Особливості оптичних транспондерів. Оптичні трансивери.

*Література до теми 10*

Рекомендується література [3, 4, 6, 7].

**Тема 11.** Лінійні коди ВОСП та оцінка їх параметрів.

Основні вимоги до лінійних сигналів ВОСП. Лінійні коди в системах ВОЛЗ ПЦІ. Лінійні сигнали однохвилевих оптичних систем передачі. Класифікація лінійних кодів ВОСП СЦІ та їх характеристика. Формування скрембльованого лінійного сигналу. Лінійні сигнали в класі кодів 1В2В. Формування лінійних сигналів в класі кодів nVmВ. Корекція помилок в оптичних системах передачі.

*Література до теми 11*

Рекомендується література [4-6].

**Тема 12.** Активні квантово-електронні та волоконно-оптичні компоненти ОТМ.

Загальна характеристика підсилювачів в ОТМ. Будова ербієвих волоконних підсилювачів. Особливості використання ербієвих підсилювачів. Будова рамановських підсилювачів. Особливості використання рамановських підсилювачів.

Характеристика джерел оптичного випромінювання. Модулятор Маха-Цендера. Передавальні оптичні модулі. Типи оптичних модуляторів.

Умови використання оптичних приймачів. Оптичні приймачі з прямим детектуванням сигналів. Оптичні приймачі з когерентним детектуванням сигналів. Приймальні оптичні модулі.

*Література до теми 12*

Рекомендується література [3-7].

**Тема 13.** Архітектури оптичних транспортних мереж.

Основні типи структур транспортних мереж. Конфігурації основних вузлів оптичної транспортної мережі. Конфігурації вузлів на базі одномодульних ROADM. Панелі крос-комутації.

Схеми захисту секції мультиплексування. Захисні переключення в мережі WDM. Захисні переключення в транспортній мережі Ethernet. Підсистема захисту оптичних каналів за принципом 1+1.

*Література до теми 13*

Рекомендується література [4-7].

**Тема 14.** Оптичні транспортні мережі на основі динамічних мультиплексорів.

Магістральні мережі. Регіональні мережі. Міські мережі. Мережі доступу. Лінійна архітектура мережі. Кільцева архітектура мережі. Коміркова архітектура мережі. Змішана архітектура мережі на основі ROADM.

*Література до теми 14*

Рекомендується література [3-7].

**Тема 15.** Синхронізація в оптичних транспортних мережах.

Нормування проковзувань. Нормування фазових дрижань (ФДр) відносно проковзувань. Типи джерел синхросигналів. Принципи розподілу тактового синхронізму. Будова систем тактової синхронізації. Ієрархія джерел синхронізації. Характеристики джерел синхросигналів. Канали розподілу синхросигналів. Вплив оптичних каналів на якість каналів синхронізації. Норми на ФДр на виході оптичних інтерфейсів. Допустиме ФДр на вході оптичних інтерфейсів.



Підсистема тактової синхронізації обладнання ONS15454. Склад обладнання транспортної платформи ONS15454. Структура підсистеми синхронізації платформи. Схеми тактової синхронізації. Зовнішні вихідні порти синхронізації.

*Література до теми 15*

Рекомендується література [5, 6].

**Тема 16.** Визначення параметрів оптичних каналів.

Методика розрахунку параметрів каналів оптичної мережі типу «лінійна ланка». Діаграма рівнів оптичного каналу та точки контролю OSNR. Методика розрахунку параметрів каналів «кільцевої» оптичної мережі.

*Література до теми 16*

Рекомендується література [1, 3, 4].

**Тема 17.** Система контролю та керування оптичною транспортною мережею.

Принципи керування мережами зв'язку. Основні функції системи керування транспортними мережами. Функціональна ієрархія систем керування транспортною мережею. Структура системи керування транспортною мережею.

Вимірювання основних параметрів компонентів ВОСП. Системні вимірювання. Види вимірювань в багатохвильових системах передачі. Вимірювання параметрів оптичних підсилювачів. Основні типи вимірювань параметрів оптичного волокна.

*Література до теми 17*

Рекомендується література [1, 3, 7].

**Тема 18.** Тестування та моніторинг ВОСП.

Тестування та моніторинг однохвильових однопролітних ВОСП. Тестування та моніторинг багатопролітних ВОСП-СР. Принципи вимірювання спектральних параметрів. Принципи вимірювання та контролю середньої оптичної потужності в ВОСП-СР. Визначення Q-фактора в ВОСП-СР. Метод безперервного контролю багатопролітних ВОСП-СР.

*Література до теми 18*

Рекомендується література [5, 14].

## 4. КОНТРОЛЬ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ РОБОТИ ТА СРС

### *Питання до колоквиуму 1*

1. Пояснити будову та принцип дії оптичних мультиплексорів та демультимплексорів на прикладі структурної схеми.
2. Вказати перелік пасивних оптичних компонентів ВОСПІ та пояснити їх призначення.
3. Пояснити будову та принцип дії динамічних компенсаторів дисперсії.
4. Вказати типи оптичних ретрансляторів та хвилевих конвертерів і пояснити принцип дії.
5. Пояснити принцип формування лінійних сигналів в класі кодів 1B2B та умови їх використання.
6. Пояснити будову та принцип дії модулятора Маха-Цендера за допомогою структурної схеми.
7. Вказати конфігурації вузлів на базі одномодульних ROADMs та пояснити їх призначення.
8. Відобразити графічно будову системи тактової синхронізації оптичних транспортних мереж та пояснити принцип дії.
9. Пояснити будову та принцип дії системи контролю та керування оптичною транспортною мережею.
10. Вказати основні типи вимірювань параметрів оптичного волокна та пояснити їх призначення.
11. Вказати типи та пояснити призначення компонентів xWDM.
12. Вказати типи та пояснити умови використання волоконно-оптичних розгалужувачів, об'єднувачів та з'єднувачів.
13. Вказати типи та пояснити принципи побудови лінійних трактів оптичних транспортних систем.
14. Вказати типи та пояснити будову лінійного регенератора СЦІ.
15. Пояснити формування лінійних сигналів в класі кодів nVmB та умови їх використання.
16. Вказати типи та пояснити будову передавальних оптичних модулів.
17. Пояснити призначення та принцип дії панелі крос-комутації.
18. Пояснити структуру ієрархії джерел синхронізації за допомогою функціональної схеми.
19. Пояснити принципи керування мережами зв'язку.
20. Вказати методи та засоби тестування та моніторингу роботи ВОСПІ.
21. Вказати типи, пояснити будову та умови використання DWDM мультиплексорів.
22. Вказати типи та пояснити принцип дії волоконно-оптичних комутаторів та перемикачів.

23. Вказати типи базових структур лінійних трактів оптичних систем передачі та пояснити принцип дії.
24. Вказати типи та пояснити принцип дії оптичних транспондерів.
25. Пояснити необхідність та принцип реалізації корекції помилок в оптичних системах передачі.
26. Вказати типи оптичних модуляторів та пояснити принцип дії.
27. Вказати типи схем захисту секції мультиплексування та пояснити принцип дії.
28. Вказати типи джерел синхросигналів та пояснити їх будову та умови використання.
29. Вказати основні функції системи керування транспортними мережами та пояснити їх призначення.
30. Пояснити необхідність тестування та моніторингу однохвильових однопролітних ВОСП.
31. Вказати типи, пояснити будову оптичних мультиплексорів та демультимплексорів та умови їх використання.
32. Вказати типи та пояснити будову крос-комутаторів оптичних каналів.
33. Вказати вимоги до лінійних трактів систем із спектральним ущільненням.
34. Вказати типи, пояснити будову та умови використання оптичних трансиверів.
35. Вказати типи, пояснити призначення та умови використання активних квантово-електронних та волоконно-оптичних компонентів ОТМ.
36. Вказати типи, пояснити будову та умови використання оптичних приймачів.
37. Пояснити принципи реалізації захисних переключень в мережі WDM.
38. Пояснити принципи формування каналів розподілу синхросигналів.
39. Пояснити функціональну ієрархію систем керування транспортною мережею.
40. Пояснити необхідність та принципи організації тестування та моніторингу багатопролітних ВОСП-СР.
41. Вказати типи, пояснити будову та умови використання динамічних оптичних мультиплексорів вводу/виводу.
42. Вказати типи та умови використання оптичних ізоляторів та волоконно-оптичних ліній затримки.
43. Пояснити необхідність математичного моделювання процесів в ВОСП.
44. Вказати типи, пояснити принципи формування та умови використання лінійних кодів ВОСП.
45. Вказати типи та виконати загальну характеристику оптичних підсилювачів в ОТМ.

46. Пояснити будову, принцип дії та умови використання оптичних приймачів з прямим детектуванням сигналів.
47. Пояснити необхідність та принцип реалізації захисних переключень в транспортній мережі Ethernet.
48. Пояснити вплив оптичних каналів на якість каналів синхронізації.
49. Пояснити будову та принцип дії схеми тактової синхронізації. Пояснити необхідність зовнішніх вихідних портів синхронізації.
50. Пояснити принципи вимірювання спектральних параметрів у ВОСП.

### ***Питання до колоквиуму 2***

1. Пояснити будову та умови використання основних типів термінальних мультиплексорів.
2. Пояснити принципи компенсації хроматичної дисперсії в ВОЛЗ.
3. Пояснити необхідність оцінювання швидкодії компонентів ВОСП.
4. Пояснити основні вимоги до лінійних сигналів ВОСП.
5. Вказати типи, будову та умови використання ербієвих волоконних підсилювачів.
6. Пояснити будову та умови використання оптичних приймачів з когерентним детектуванням сигналів.
7. Пояснити принцип дії підсистеми захисту оптичних каналів за принципом 1+1.
8. Пояснити необхідність нормування ФДр на виході оптичних інтерфейсів.
9. Пояснити будову та принцип дії системи керування транспортною мережею.
10. Пояснити принципи вимірювання та контролю середньої оптичної потужності в ВОСП-СР.
11. Вказати типи, будову та умови використання термінального мультиплексора з лінійними портами WDM.
12. Пояснити необхідність компенсації дисперсії в ВОЛЗ.
13. Пояснити алгоритм роботи програми розрахунку параметрів інерційності ВОЛТ.
14. Вказати типи, принципи формування та умови використання лінійних кодів в системах ВОЛЗ ПЦІ.
15. Пояснити особливості використання ербієвих підсилювачів в ВОСП.
16. Вказати типи, пояснити будову та умови використання приймальних оптичних модулів.

17. Пояснити принципи синхронізації в оптичних транспортних мережах.
18. Пояснити необхідність оцінювання допустимого ФДр на вході оптичних інтерфейсів.
19. Пояснити принципи вимірювання основних параметрів компонентів ВОСП.
20. Пояснити необхідність визначення Q-фактора в ВОСП-СР.
21. Вказати типи, пояснити будову та умови використання мультиплексорів вводу/виводу з електричними та оптичними закінченнями ADM.
22. Надати загальну характеристику основних типів компенсаторів хроматичної дисперсії.
23. Пояснити принцип регенерування сигналів в ВОСП.
24. Пояснити принципи формування лінійних сигналів однохвильових оптичних систем передачі.
25. Вказати типи, пояснити будову та умови використання рамановських оптичних підсилювачів.
26. Пояснити будову архітектур оптичних транспортних мереж.
27. Пояснити необхідність нормування проковзувань та нормування фазових дрижань (ФДр) відносно проковзувань.
28. Пояснити будову та принцип дії підсистеми тактової синхронізації обладнання ONS15454.
29. Пояснити необхідність та принципи реалізації системних вимірювань.
30. Пояснити принцип реалізації методу безперервного контролю багатопролітних ВОСП-СР.
31. Пояснити будову та умови використання оптичного мультиплексора з функціями OADM/ROADM/OXC.
32. Пояснити будову та умови використання волоконних розподілених компенсаторів дисперсії.
33. Пояснити принцип дії структури лінійного ретранслятора в ВОСП.
34. Виконати класифікацію лінійних кодів ВОСП СЦІ та їх характеристик.
35. Пояснити особливості використання рамановських підсилювачів.
36. Вказати основні типи, призначення та умови використання структур транспортних мереж.
37. Вказати типи та умови використання джерел синхросигналів OTM.
38. Пояснити призначення та умови використання обладнання транспортної платформи ONS15454.

39. Вказати види вимірювань в багатохвильових системах передачі.
40. Вказати типи, пояснити призначення та умови експлуатації оптичних мультиплексорів ПЦІ ієрархії.
41. Пояснити технологію оптичної транспортної мережі оптичної ієрархії.
42. Вказати типи, пояснити будову та умови використання дискретних компенсаторів на Бреґівських решітках.
43. Вказати типи, пояснити будову та умови використання оптичних регенераторів.
44. Пояснити формування скрембльованого оптичного лінійного сигналу.
45. Надати характеристику джерел оптичного випромінювання.
46. Вказати конфігурації та пояснити принцип дії основних вузлів оптичної транспортної мережі.
47. Пояснити принципи розподілу тактового синхронізму.
48. Пояснити будову та принцип дії структури підсистеми синхронізації платформи ONS15454.
49. Пояснити необхідність та умови вимірювання параметрів оптичних підсилювачів.
50. Вказати типи, призначення та умови експлуатації оптичних мультиплексорів СЦІ ієрархії.

### **Теми рефератів**

1. Будова волоконно-оптичних мереж зв'язку.
2. Топології оптичних систем передачі.
3. Інтерфейси оптичних транспортних систем.
4. Умови використання DWDM та CWDM технологій.
5. Оптичні мультиплексори транспортної мережі оптичної ієрархії.
6. Стандарти для динамічних мультиплексорів ROADM.
7. Обладнання динамічних мультиплексорів ROADM.
8. Використання пасивних оптичних компонентів ВОСП.
9. Динамічна компенсація хроматичної дисперсії в ВОЛЗ.
10. Оцінювання параметрів лінійних трактів ОТМ.
11. Корекція помилок лінійних кодів оптичних систем передачі.
12. Особливості використання оптичних підсилювачів, модуляторів та приймальних оптичних модулів.
13. Типові архітектури оптичних мереж та схеми захисту оптичних каналів.
14. Захист з'єднань транспортних мереж.

15. Підсистема тактової синхронізації обладнання транспортних мереж.
16. Методика проектування оптичних транспортних мереж.
17. Система контролю основних параметрів компонентів ВОСП.
18. Система моніторингу роботи ВОСП-СР.

## 5. ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

### Варіант 1

**1. Що називають основним цифровим каналом?**

- 1) канал зі швидкістю 64 кбіт/с;
- 2) канал зі швидкістю 128 кбіт/с;
- 3) канал зі швидкістю 1024 кбіт/с;
- 4) канал зі швидкістю 2048 кбіт/с.

**2. Що називають первинним цифровим каналом?**

- 1) канал зі швидкістю 8,4488 Мбіт/с;
- 2) канал зі швидкістю 34,368 Мбіт/с;
- 3) канал зі швидкістю 1,024 Мбіт/с;
- 4) канал зі швидкістю 2,048 Мбіт/с.

**3. До якого типу цифрової ієрархії відносяться оптичні мультиплексори FOM-16, FMUX-01, OTG-35M.**

- 1) СЦІ;
- 2) ПЦІ;
- 3) ОТІ.

**4. До якого типу цифрової ієрархії відносяться оптичні мультиплексори xWDM.**

- 1) СЦІ;
- 2) ПЦІ;
- 3) ОТІ.

**5. Вкажіть, якому типу обладнання характерна швидкість 2,488 Гбіт/с.**

- 1) – STM-1;
- 2) – STM-4;
- 3) – STM-16;
- 4) – STM-64.

**6. Вкажіть числові значення стандартного спектрального діапазону C.**

- 1) 1260...1360 нм;
- 2) 1360...1460 нм;
- 3) 1460...1530 нм;
- 4) 1530...1570 нм.

**7. Вкажіть числові значення стандартного спектрального діапазону E.**

- 1) 1530...1570 нм;
- 2) 1360...1460 нм;
- 3) 1460...1530 нм;
- 4) 1570...1625 нм.

**8. Вкажіть який діапазон швидкості відповідає третьому рівню OTI.**

- 1) діапазон швидкості до 2,5 Гбіт/с;
- 2) діапазон швидкості до 10 Гбіт/с;
- 3) діапазон швидкості до 40 Гбіт/с;
- 4) діапазон швидкості до 100 Гбіт/с.

**9. Вкажіть до якого вікна прозорості відноситься хвиля з довжиною 1310 нм.**

- 1) 1 ВП;
- 2) 2 ВП;
- 3) 3 ВП;
- 4) 4 ВП.

**10. Вкажіть, який тип коду не відноситься до лінійних кодів оптичного сигналу.**

- 1) CMI;
- 2) HDB3;
- 3) mBnB.

**11. Вкажіть, в якому діапазоні робочих хвиль xWDM технології присутній пік поглинання потужності оптичного сигналу.**

- 1) O;
- 2) E;
- 3) S;
- 4) C.

**12. Вкажіть, який тип оптичного підсилювача називається ербієвим (EDFA).**

- 1) підсилювач Фабрі-Перо;



- 2) рамановський підсилювач;
- 3) напівпровідниковий лазерний підсилювач;
- 4) підсилювач на базі оптичного волокна з домішками.

**13. Вкажіть діапазони робочих хвиль ербієвих волоконних підсилювачів.**

- 1) С та L;
- 2) S та C;
- 3) E та S;
- 4) O та E.

**14. Вкажіть, чи вірне твердження, що рамановські підсилювачі працюють в діапазоні робочих хвиль 1300...1600 нм.**

- 1) ні;
- 2) так.

**15. Вкажіть, більш ефективний тип модуляції оптичного сигналу в ВОСП.**

- 1) двохпозиційна амплітудна;
- 2) диференціальна квадратурна.

**16. Вкажіть, більш ефективний тип оптичного приймача.**

- 1) оптичний приймач з прямим детектуванням;
- 2) оптичний приймач з когерентним детектуванням;
- 3) оптичний приймач з лавинним фотодіодом.

**17. Вкажіть, більш ефективний тип лінійного коду оптичного сигналу.**

- 1) 4B5B-NRZ;
- 2) 1B2B;
- 3) RS(255, 239).

**18. Вкажіть максимальну кількість первинних цифрових каналів, яку може передавати обладнання СЦІ STM-1.**

- 1) 62;
- 2) 63;
- 3) 64;
- 4) 65.

**19. Вкажіть максимальну кількість оптичних каналів, яку може передавати обладнання CWDM з між канальним інтервалом 200 ГГц.**

- 1) до 10;

- 2) до 20;
- 3) до 18;
- 4) до 16.

**20. Вкажіть максимальну кількість оптичних каналів, яку може передавати обладнання HDWDM з між канальним інтервалом 12,5 ГГц.**

- 1) до 200;
- 2) до 250;
- 3) до 320;
- 4) до 480.

**21. Вкажіть, в якому вікні прозорості працюють оптичні підсилювачі EDFA.**

- 1) 1 ВП;
- 2) 2 ВП;
- 3) 3 ВП;
- 4) 4 ВП.

**22. Вкажіть, допустиме значення ширини спектральної лінії для оптичних інтерфейсів STM-64 згідно рекомендації G.957.**

- 1) 0,5 нм;
- 2) 1 нм;
- 3) 1,5 нм;
- 4) 0,1 нм.

**23. Вкажіть, тип оптичного волокна, який забезпечує більшу дальність передачі інформації.**

- 1) одномодове оптичне волокно;
- 2) багатомодове оптичне волокно.

**24. Вкажіть, тип обладнання xWDM, яке забезпечує найбільшу пропусну здатність інформаційного сигналу.**

- 1) оптичний мультиплексор DWDM;
- 2) оптичний мультиплексор ROADM;
- 3) оптичний мультиплексор CWDM.

**25. Вкажіть тип дисперсії, яка характерна багатомодовим оптичним волокнам.**

- 1) хвилева дисперсія;
- 2) хроматична дисперсія;
- 3) модова дисперсія.

**26. Вкажіть тип дисперсії, яка характерна одномодовим оптичним волокнам.**

- 1) хвилева дисперсія;
- 2) хроматична дисперсія;
- 3) модова дисперсія.

**27. Вкажіть довжини хвиль, які відповідають мінімумам затухання потужності оптичного сигналу.**

- 1) 0,95 мкм, 1,4 мкм, 1,6 мкм;
- 2) 0,65 мкм, 1,25 мкм, 1,45 мкм;
- 3) 0,85 мкм, 1,3 мкм, 1,55 мкм.

**28. Вкажіть максимальну кількість основних цифрових каналів, яку може передавати обладнання СЦІ STM-1.**

- 1) 2048;
- 2) 1920;
- 3) 1024.

**29. Вкажіть рівень обладнання СЦІ, яке забезпечує передачу 122880 основних цифрових каналів.**

- 1) STM-16;
- 2) STM-64;
- 3) STM-256.

**30. Вкажіть максимальну кількість основних цифрових каналів, яку може передавати обладнання СЦІ з швидкістю групового сигналу 2488,32 Мбіт/с.**

- 1) 30720;
- 2) 122880;
- 3) 7680.

**31. Поясніть зміст спектрального ущільнення в обладнанні xWDM.**

- 1) часове ущільнення оптичних каналів;
- 2) частотне ущільнення оптичних каналів;
- 3) кодове ущільнення каналів.

**32. Вкажіть тип оптичного підсилювача, що використовується на виході оптичного передавача.**

- 1) оптичний підсилювач потужності;
- 2) лінійний оптичний підсилювач;

3) попередній оптичний підсилювач.

**33. Вкажіть до якого рівня групового розсіювання відноситься цифрова система ІКМ-480.**

- 1) первинного;
- 2) вторинного;
- 3) третинного.

**34. Вкажіть якій схемі захисного резервування оптичного лінійного тракту характерний режим гарячого резерву (основний та резервний елементи виконують однакову роботу).**

- 1) 1+1;
- 2) 1:1;
- 3) 1:N.

**35. Вкажіть який тип синхронізації та режим зв'язку відповідає обладнанню STM-N.**

- 1) асинхронний;
- 2) синхронний;
- 3) плезіохронний.

**36. Вкажіть кількість моделей оптичних транспортних мереж.**

- 1) 2;
- 2) 3;
- 3) 4;
- 4) 5.

**37. Вкажіть принцип дії оптичного рефлектометра.**

- 1) аналіз відбитих оптичних імпульсів;
- 2) аналіз приломлених оптичних імпульсів;
- 3) аналіз втрачених оптичних імпульсів.

**38. Вкажіть максимальну кількість первинних цифрових каналів телефонії, яку буде передано обладнанням DWDM з задіяними 4 входами, якщо на кожен вхід подано інформаційний потік з швидкістю 155,52 Мбіт/с.**

- 1) 264;
- 2) 252;
- 3) 620.

**39. Вкажіть максимальну кількість основних цифрових каналів телефонії, яку буде передано обладнанням DWDM з задіяними 2 входами, якщо на кожен вхід подано інформаційний потік з швидкістю 2488,32 Мбіт/с.**

- 1) 61440;
- 2) 65220;
- 3) 62890.

**40. Вкажіть максимальну швидкість інформаційного групового сигналу обладнанням DWDM з задіяними 8 входами, якщо на кожен вхід подано інформаційний потік з максимальною швидкістю обладнання STM-4.**

- 1) 5182,38 Мбіт/с;
- 2) 4976,64 Мбіт/с;
- 3) 5418,24 Мбіт/с.

## 6. МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО НАПИСАННЯ КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ СТУДЕНТАМИ ЗАОЧНОЇ ФОРМИ НАВЧАННЯ

Контрольна робота складається з комплексного завдання, яке охоплює теоретичний матеріал програми навчальної дисципліни та містить теоретичну та практичну частини.

Завдання є індивідуальним.

Завдання для виконання контрольної роботи студент отримує під час установчої сесії на першій лекції з дисципліни. Виконану контрольну роботу, завірену у деканаті, студент повинен здати для перевірки на кафедру (викладачу) під час сесії до проведення заліку з дисципліни.

Контрольна робота складається із 3 теоретичних питань та одного практичного завдання. Теоретичні питання вибираються залежно від варіанту із відповідного переліку.

*Перелік питань для контрольних робіт:*

1. Класифікація оптичних транспортних систем та аналіз їх функціональних характеристик.
2. Аналіз методів мультиплексування та функціональних характеристик оптичних мультиплексорів (IROADM).
3. Класифікація форматів модуляції оптичних сигналів за критеріями ефективності використання оптичних каналів.
4. Методи та засоби коригування функціональних характеристик ВОЛТ.
5. Класифікація джерел оптичних сигналів в оптичних передавачах ВОСП.
6. Технології побудови та основні характеристики модуляторів оптичних сигналів у ВОСП.
7. Принципи будови та використання оптичних передавачів у ВОСП.
8. Принципи будови та використання оптичних приймачів у ВОСП.
9. Технології побудови та функціональні характеристики блоку цифрового оброблення сигналів в оптичному приймачі когерентних ВОСП.
10. Принципи будови та використання мукспондерів в оптичних телекомунікаційних мережах.
11. Методи підвищення енергетичної та спектральної ефективності функціонування когерентних ВОЛТ.
12. Методика визначення режиму роботи оптичного передавача високошвидкісної ВОСП.
13. Методика визначення режиму роботи оптичного приймача високошвидкісної ВОСП.
14. Методика розрахунку параметрів оптичних підсилювачів у ВОЛТ.

15. Методика побудови діаграми рівнів потужності оптичних сигналів у ВОЛТ.
16. Методика розрахунку електричної схеми підсилювача потужності оптичного передавача у ВОСП.
17. Методика розрахунку електричної схеми попереднього підсилювача вхідних сигналів оптичного приймача у ВОСП.
18. Дослідження алгоритму цифрового оброблення сигналів у когерентній ВОСП.
19. Межа Шенона для ВОСП.
20. Структура передавача та приймача з багаторівневим кодуванням/декодуванням.
21. Способи підвищення ефективності ВОСП.
22. Умови використання компенсаторів дисперсії та оптичних підсилювачів.
23. Особливості використання цифрового оброблення сигналів в коректних оптичних приймачах.
24. Умови використання багаторівневих форматів модуляції, поляризаційного мультиплексування та суперканалів.
25. Будова та функціональні характеристики багатоосердних одномодових оптичних волокон.
26. Будова та функціональні характеристики ВОСП з модовим розподілом оптичних каналів.
27. Класифікація форматів багаторівневої оптичної модуляції та способи реалізації суперканалів.
28. Квадратурно-амплітудні формати модуляції оптичних сигналів у ВОСП.
29. Методика розрахунку енергетичних параметрів сеперканалів.
30. Сучасна та перспективна компонентна база ВОСП.
31. Аналіз структур ВОСП для сучасних інфокомунікаційних мереж.
32. Проектування гнучко керованих оптичних транспортних систем та мереж на основі технології DWDM.
33. Особливості моделювання складних оптичних систем.
34. Створення комп'ютерних моделей ВОСП в програмі OptiSystem.
35. Створення комп'ютерних моделей ВОСП в програмі OptiSim.
36. Аналіз алгоритмів виправлення помилок у ВОЛТ.

Практичне завдання полягає в розрахунку параметрів та розробленні структурної схеми ВОСП згідно заданих тем задач.

1. Вибір і обґрунтування типу ОВ та ВОК для ВОЛЗ.

2. Вибір і обґрунтування станційного обладнання для ВОЛТ.
3. Розрахунок оптичних параметрів ОВ та параметрів передачі ВОК.
4. Розрахунок довжини елементарної кабельної ділянки ВОЛТ.
5. Розрахунок параметрів оптичних каналів.
6. Розрахунок бюджету потужності підсилювальних ділянок ВОЛТ.
7. Розрахунок бюджету швидкодії підсилювальних ділянок ВОЛТ.
8. Розрахунок значення коефіцієнту помилок підсилювальних ділянок ВОЛТ.
9. Розрахунок параметрів оптичної мережі доступу.
10. Розрахунок спектральної ефективності формату модуляції оптичних сигналів у ВОСП.
11. Розрахунок енергетичної характеристики ВОЛТ.
12. Дослідження залежності пропускної здатності ВОЛТ від обраного методу мультиплексування, формату модуляції та технології кодування оптичних сигналів.
13. Розрахунок OSNR та коефіцієнта помилок у ВОЛТ.
14. Розрахунок параметрів структурної схеми мукспондера.
15. Розрахунок електричної схеми вихідного каскаду оптичного передавача ВОСП.
16. Розрахунок електричної схеми вхідного каскаду оптичного приймача ВОСП.
17. Розроблення структурної схеми когерентної ВОСП.
18. Розроблення топології інфокомунікаційної мережі на основі ВОСП.



## **7. ПИТАННЯ ДО ІСПИТУ З ДИСЦИПЛІНИ «ОПТИЧНІ ТРАНСПОРТНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ»**

1. Поясніть принципи побудови та функціональні параметри мультиплексорів/демультиплексорів хвильових каналів та інтерлівінгових фільтрів. Наведіть приклади.
2. Вкажіть типи та поясніть будову оптичних комутаторів. Наведіть приклади структур.
3. Вкажіть типи та поясніть будову оптичних мультиплексорів OADM/ROADM. Наведіть приклади структур.
4. Поясніть структури оптичних (фотонних) крос-комутаторів ОХС/РХС.
5. Вкажіть призначення та умови використання оптичних мультиплексорів та комутаторів.
6. Поясніть будову та функціональні параметри хвильового (спектрального) оптичного каналу.
7. Поясніть призначення міжканальних інтервалів в ВОСП та вкажіть їх значення.
8. Вкажіть технології побудови оптичних фільтрів, мультиплексорів та комутаторів.
9. Вкажіть призначення, елементну базу та переваги оптичних інтерлівінгових фільтрів.
10. Вкажіть характеристики та поясніть будову решітки AWG.
11. Вкажіть призначення, типи та умови використання оптичних комутаторів в ВОСП.
12. Порівняйте властивості симетричних та несиметричних оптичних комутаторів.
13. Поясніть будову та параметри оптичного комутатора типу WSS.
14. Порівняйте будову та параметри оптичних комутаторів OADM та ROADM.
15. Вкажіть призначення та умови використання функції grooming в оптичній мережі.
16. Порівняйте статичні та динамічні з'єднання в фотонних комутаторах.
17. Поясніть призначення транспондерів та мукспондерів, що входять до складу фотонного комутатора.
18. Вкажіть структури активних мережних елементів оптичних мереж. Наведіть приклади.
19. Поясніть структуру термінального оптичного мультиплексора.

20. Поясніть структуру оптичного мультиплексора виділення/введення.
21. Порівняйте структури вузлів оптичної кросової комутації.
22. Поясніть будову та принцип дії оптичного мережного елемента «Оптичний підсилювач».
23. Вкажіть типи, властивості та умови використання пасивних оптичних мережних елементів.
24. Вкажіть типи, функціональні параметри та умови використання пасивних оптичних розгалужувачів.
25. Вкажіть типи, функціональні параметри та умови використання компенсаторів хроматичної дисперсії.
26. Наведіть приклади використання інтерлівінгових фільтрів в якості діапазонних розгалужувачів.
27. Вкажіть варіанти топологій оптичних мереж та умови їх використання. Наведіть приклади.
28. Вкажіть способи захисту оптичних каналів та секцій мультиплексування у ВОЛТ. Наведіть приклади.
29. Поясніть принципи керування оптичними мережними елементами.
30. Вкажіть типи та функціональні характеристики засобів вимірювання і тестування когерентних оптичних мереж.
31. Порівняйте властивості активних та пасивних мережних елементів в оптичній мережі.
32. Вкажіть варіанти побудови пасивних OADM. Наведіть приклади.
33. Вкажіть варіанти фізичних та логічних топологій оптичних мереж.
34. Поясніть методику вимірювання OSNR в оптичних каналах.
35. Поясніть склад і функціональні характеристики тестових та вимірювальних оптичних платформ.
36. Поясніть принцип дії оптичної кільцевої мережі на основі FOADM. Наведіть приклад конфігурації.
37. Поясніть структуру та функціональні характеристики ROADM на основі дискретних компонентів.
38. Поясніть структуру та функціональні параметри ROADM на основі комутаторів типу MEMS.
39. Вкажіть варіанти побудови ROADM на основі PLC. Наведіть приклади.
40. Порівняйте варіанти побудови ROADM на основі WSS.

41. Вкажіть варіанти побудови оптичних кросових комутаторів РХС (ОХС). Наведіть приклади структур та поясніть принцип дії.
42. Порівняйте характеристики комутаційних технологій для ROADM.
43. Поясніть будову та функціональні характеристики оптичних мультиплексорів OMX/ODMX.
44. Наведіть приклади побудови оптичних атенюаторів VOA та поясніть їх функціональні параметри.
45. Вкажіть функціональні параметри та поясніть будову транспондерних модулів. Наведіть приклади структур.
46. Вкажіть переваги та недоліки при використанні мультиплексорів ROADM.
47. Вкажіть типи модуляції оптичних сигналів, що використовуються в транспондерах.
48. Вкажіть типи стандартів оптичних частот, що використовуються в ВОСП.
49. Дайте визначення основних характеристик оптичних компонентів, що вказані в рекомендації G.671.
50. Поясніть функціональні характеристики та умови використання оптичних інтерфейсів ВОСП згідно рекомендації G.671.
51. Поясніть функціональні характеристики і умови використання оптичних інтерфейсів ВОСП згідно рекомендації G.698.1 та G.698.2.
52. Поясніть методику розрахунку характеристики оптичних каналів в ВОСП.
53. Поясніть необхідність стандартизації оптичних компонентів для обладнання та мереж зв'язку.
54. Поясніть формулу для визначення OSNR оптичного каналу в ВОСП.
55. Поясніть причини виникнення хроматичної дисперсії в ВОЛТ.
56. Поясніть чим обмежується кількість касадно ввімкнених OADM, ROADM та РХС.
57. Поясніть характеристики оптичних інтерфейсів згідно рекомендації G.695. Наведіть приклад кодів використання.
58. Порівняйте характеристики оптичних інтерфейсів згідно рекомендацій G.698.1 та G.698.2. Наведіть приклади кодів використання.
59. Вкажіть характеристики оптичних інтерфейсів згідно рекомендації G.695. Наведіть приклад кодів використання.

60. Вкажіть типи та функціональні характеристики оптичних інтерфейсів для оптичних мереж на основі OADM/ROADM та PXC.
61. Порівняйте однонаправлені та двонаправлені з'єднання в оптичних лінійних та кільцевих схемах.
62. Порівняйте режими роботи оптичних каналів, що передбачені стандартами G.695, G.698.1, G.698.2, G959.1.
63. Порівняйте основні технічні характеристики та умови використання OADM Optowaves та OADM Cisco 15216.
64. Порівняйте основні технічні характеристики та узагальнені структури PLC ROADM JDSU та ROADM NEC.
65. Вкажіть конфігурації оптичних мереж на основі OADM/ROADM і PXC та поясніть умови їх використання.
66. Поясніть методи захисту з'єднань в оптичних мережах за допомогою ROADM та PXC.
67. Поясніть способи захисту оптичної секції мультиплексування. Наведіть приклади структурних схем.
68. Поясніть способи захисту оптичних каналів. Наведіть приклади структурних схем.
69. Вкажіть типи та основні технічні характеристики обладнання OADM/ROADM та PXC.
70. Вкажіть можливі конфігурації оптичних мереж на основі ROADM та PXC.
71. Порівняйте параметри однонаправлених та двонаправлених оптичних каналів в кільцевій мережі.
72. Поясніть призначення «моста» та «селектора» в оптичному мультиплексорі ROADM.
73. Порівняйте функціональні параметри OMS-DPRing та OMS-SPRing.
74. Поясніть методику розрахунку характеристик оптичних каналів мережі з радіальною топологією.
75. Поясніть методику розрахунку характеристик оптичних каналів мережі з кільцевою топологією.
76. Поясніть необхідність визначення основних параметрів оптичної мережі.
77. Вкажіть характеристики станційного та лінійного обладнання, що використовуються при розрахунку оптичної мережі.

78. Вкажіть етапи розрахунку параметрів оптичних каналів та оптичної мережі.
79. Поясніть формулу для визначення затухання оптичних сигналів в ВОЛТ.
80. Порівняйте методики визначення затухання оптичних сигналів в ВОЛТ та ВОЛЗ.
81. Поясніть формулу для визначення хроматичної дисперсії в ВОЛЗ.
82. Порівняйте методики визначення хроматичної дисперсії в ВОЛЗ та ВОЛТ.
83. Поясніть методику вибору та використання DCF в ВОЛТ.
84. Поясніть діаграму рівнів оптичного каналу ВОСП.
85. Поясніть методику визначення максимально допустимої потужності канального оптичного сигналу в спектрі з  $N$  оптичних каналів.
86. Поясніть причини виникнення та методику коригування поляризаційно модової дисперсії в ВОЛТ.
87. Порівняйте шумові характеристики оптичного підсилювача та оптичного мультиплексора ROADM.
88. Поясніть призначення функції «grooming» в оптичній мережі.
89. Поясніть функції «grooming» в оптичній транспортній мережі SDH-NGN.
90. Поясніть функції «grooming» в оптичній транспортній мережі OTN-WDM.
91. Вкажіть задачі, що вирішуються при виконанні групування оптичних каналів.
92. Поясніть необхідність використання функції «grooming» в оптичній транспортній мережі.
93. Класифікуйте функції керування обладнанням оптичної мережі.
94. Наведіть приклади побудови систем керування оптичними мережами.
95. Вкажіть технології та засоби тестування та моніторингу роботи оптичних мереж.
96. Наведіть приклади ключових параметрів для контролю оптичних каналів в ВОСП.
97. Наведіть приклади контролю основних параметрів оптичного каналу в електричній цифровій частині ВОСП.

98. Виконайте техніко-економічне оцінювання оптичних мереж на основі ROADM та PXC.
99. Класифікуйте стандарти та характеристики обладнання когерентних оптичних мереж.
100. Порівняйте функціональні характеристики основних мультисервісних транспортних платформ. Наведіть приклади.
101. Вкажіть стандарти, що використовуються для побудови когерентних оптичних систем та мереж.
102. Вкажіть стандарт, який характеризує технологію передавання інформаційних сигналів в оптичних каналах ВОСП.
103. Вкажіть стандарти, які визначають параметри ОВ для когерентних ВОСП.
104. Вкажіть стандарти, які визначають параметри оптичних підсилювачів когерентних ВОСП.
105. Вкажіть стандарт, який визначає параметри оптичних мультиплексорів.
106. Вкажіть стандарти, які визначають функціональні характеристики оптичних інтерфейсів ВОСП з WDM.
107. Вкажіть стандарти, які характеризують формати модуляції для когерентних ВОСП.
108. Поясніть необхідність маршрутизації оптичних каналів в когерентній оптичній мережі.
109. Поясніть алгоритм статичної маршрутизації в оптичній мережі.
110. Поясніть алгоритм динамічної маршрутизації в оптичній мережі.
111. Порівняйте статичну та динамічну маршрутизації в оптичній мережі.
112. Поясніть методику розрахунку діаграми рівнів та OSNR для ВОЛТ.
113. Поясніть будову та характеристики багатоосердних ОВ.
114. Вкажіть типи та будову ВОЛЗ на основі багатоосердних ОВ.
115. Поясніть будову та параметри оптичних підсилювачів для ВОЛЗ на основі MCF.
116. Поясніть будову та параметри компонентів MCF для виділення/введення осердь ОВ та їх комутації.
117. Поясніть будову та принцип дії ВОСП з модовим розподіленням оптичних каналів.
118. Поясніть будову та параметри ВОЛЗ на основі ОВ типу FMF.

119. Поясніть принципи введення/виведення та підсилення мод в ВОСП з модовим мультиплексуванням. Наведіть приклади.
120. Поясніть принципи побудови ВОСП з модовим мультиплексуванням. Наведіть приклад структури.
121. Поясніть дисперсійні характеристики ВОЛЗ на основі ОВ типу FMF.
122. Вкажіть формати багаторівневої оптичної модуляції та способи реалізації суперканалів в ВОЛТ.
123. Вкажіть типи, параметри та умови використання простих форматів модуляції в ВОЛТ.
124. Вкажіть типи, параметри та умови використання фазових форматів модуляції в ВОЛТ.
125. Класифікуйте спектральну ефективність різних форматів модуляції високошвидкісних ВОСП.
126. Вкажіть типи, параметри та умови використання квадратурно-амплітудних форматів модуляції в ВОЛТ.
127. Поясніть способи реалізації оптичних суперканалів в ВОЛТ.
128. Поясніть методичку розрахунку енергетичних параметрів суперканалів в ВОЛТ.
129. Поясніть формулу для визначення спектральної ефективності формату модуляції оптичних сигналів.
130. Вкажіть переваги та недоліки простих форматів модуляції оптичних сигналів в ВОСП.
131. Вкажіть переваги та недоліки фазових форматів модуляції оптичних сигналів n-PSK в ВОСП.
132. Поясніть необхідність використання поляризаційного мультиплексування PDM в ВОСП. Наведіть приклад реалізації.
133. Вкажіть переваги та недоліки квадратурних форматів модуляції оптичних сигналів в ВОСП.
134. Вкажіть функціональні параметри оптичних суперканалів в ВОЛТ. Наведіть приклад їх реалізації.
135. Вкажіть функціональні параметри мережних компонентів для побудови суперканалів в ВОЛТ.
136. Поясніть особливості будови когерентного оптичного приймача.
137. Вкажіть причини обмеження кількості спектральних каналів в ВОЛТ.

## ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фокин В. Г. Оптические системы с терабитными и петабитными скоростями передачи: Учебное пособие. – Н. : СибГУТИ, 2016.
2. Дрючин О. О. Оптичні транспортні мережі. Схронна цифрова ієрархія: Навчальний посібник. – Вінниця. : ВНТУ, 2017.
3. Фокин В. Г. Когерентные оптические сети: Учебное пособие. – Н. : СибГУТИ, 2015.
4. Фокин В. Г. Проектирование оптической мультисервисной транспортной сети : Учебное пособие. – Н. : СибГУТИ, 2009.
5. Соломенчук В. Д., Мищенко В. А., Гура К. Н. Оптические транспортные сети. – К. : ЦПО ПАО «Укртелеком», 2014.
6. Бортник Г. Г., Васильківський М. В., Кичак В. М. Транспортні телекомунікаційні технології. – В. : ВНТУ, 2017.
7. Фокин В. Г. Оптические мультиплексоры OADM/ROADM и коммутаторы РХС в мультисервисной транспортной сети : Учебное пособие. – Н. : СибГУТИ, 2011.
8. Le Nguyen Binh Advanced Digital Optical Communications. – European Research Center, Huawei Technologies, Munich, Germany, CRC Press London New York, 2015.
9. John M. Senior Optical Fiber Communications Principles and Practice. – Prentice Hall, 2009.
10. Shiva Kumar and M. Jamal Deen Fiber Optic Communications Fundamentals and Applications - Department of Electrical and Computer Engineering, McMaster University, Canada, 2014.
11. Herbert Venghaus, Norbert Grote Fibre Optic Communication - Springer Series in Optical Sciences, 2017.
12. Xiang Zhou Chongjin Xie Enabling Technologies for High Spectral-Efficiency Coherent Optical Communication Networks - Wiley, 2016.
13. Дмитриев А. Л. Оптические системы передачи информации. Учебное пособие: [сайт]. Режим доступа: <http://mexalib.com/view/1868> (дата звернення 14.09.2018). — Назва з екрана.
14. Исследование параметров волоконно-оптической линии передачи. [сайт]. Режим доступа: <http://www.techexpose.ru/techob-860.html> (дата звернення 14.09.2018). — Назва з екрана.
15. OTN: следующий шаг в эволюции сетей. [сайт]. Режим доступа: <http://www.nstel.ru/articles/otn> (дата звернення 14.09.2018). — Назва з екрана.