Вересень 2020

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича
Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Кафедра кореляційної оптики

СИЛАБУС

НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ «НАПРЯМНІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ОПТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ»

Частина друга – **«ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ЛІНІЇ ЗВ'ЯЗКУ»**

вибіркова дисципліна

Освітньо-професійна програма – Телекомунікації
Спеціальність – 172 Телекомунікації та радіотехніка
Галузь знань – 17 Електроніка та телекомунікації
Рівень вищої освіти – перший
Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук
Мови навчання: українська, англійська
Розробник – професор кафедри кореляційної оптики, професор доктор фіз-мат наук Мохунь І.І.
Профайл викладача – http://ptcsi.chnu.edu.ua/teachers/мохунь-ігор-іванович/
Контактний тел. – 0972193715
E-mail – i.mokhun@chnu.edu.ua
Сторінка курсу в Moodle – https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=832
Консультації: онлайн-консультації, понеділок з 14.00 до 15.00.

Анотація

Мета вивчення дисципліни: Навчальна дисципліна формує базові уявлення студентів про принципи створення, структуру та складові елементи волоконно-оптичних систем передачі інформації (ВОСП), процеси, які відбуваються при передачі інформаційного сигналу по оптичному волокну. В курсі розглядаються діючі та перспективні системи та мережі волоконно-оптичного зв'язку, функціональні схеми та елементи конкретних вітчизняних та закордонних систем PDH та SDH ієрархій. Знання та уміння отримані студентами при вивченні курсу повинні дозволити майбутньому фахівцю проводити експлуатацію та розробку систем передачі на основі волоконно-оптичних ліній та оптичних пристроїв, проводити проектування та планування мереж зв'язку з оптичними компонентами.

У результаті вивчення курсу студент має набути таких компетенцій: знати Основи побудови волоконно-оптичних систем передачі, основні елементи таких систем та принципи їх роботи, принципи функціонування систем плезіохронної та синхронної ієрархій фізику процесів, які відбуваються при генерації, передачі та прийомі інформаційного сигналу, основні характеристики сучасних засобів волоконно-оптичного зв'язку та їх переваги та недоліки порівняно з традиційними електричними системами передачі, типові пристрої монтажу, настройки та обслуговування ВОСП, принципи планування та проектування ВОСП. Вміти аналізувати характеристики ВОСП, та її складових елементів, працювати з технічною документацією ВОСП та вносити до неї відповідні зміни, проводити експлуатацію і настройку ВОСП та її складових вузлів, пристроїв, проводити вимірювання характеристик ВОСП та її складових вузлів, пристроїв, проводити планування (проектування) ВОСП та її складових вузлів.

Вивчення дисципліни здійснюється за трьома змістовими модулями:

Змістовний модуль 1. «Структура і типи оптичних волокон»

НЕ 1.1. Фізичні характеристики оптичного волокна. Основні елементи оптичного волокна. Типи і характеристики оптичного волокон. Профілі показника заломлення. Поглинання в оптичних волокнах.

НЕ 1.2. Параметри оптичного волокна. Дисперсія в ВОЛЗ. Геометричні параметри волокна. Характеристики оптичних волокон згідно з рекомендаціями ITU-T.

НЕ 1.3. Нелінійні оптичні явища в одномодових волокнах. Нелінійні оптичні явища в одномодових волокнах. Одномодові волокна нових типів виробництва компаній LUCENT TECHNOLOGIES CORNIGS.

НЕ 1.4. Оптичні кабелі. Оптичні кабелі. Монтаж оптичних кабелів. Аналіз втрат, які виникають у процесі монтажу оптичних кабелів зв'язку. Методи з'єднання оптичних волокон.

НЕ 1.5. Волоконно-оптичні відгалужувачі і розгалужувачі. Волоконно-оптичні відгалужувачі і розгалужувачі. Спектральні розгалужувачі. Мультиплексори. Демультиплексори

Змістовний модуль 2. «Пристрої ВОСП»

НЕ 2.1. Волоконно-оптичні перемикачі. Волоконно-оптичні перемикачі. Електромеханічні, термооптичні і електрооптичні перемикачі. Оптичні ізолятори.

НЕ 2.2. Джерела випромінювання. Світлодіоди. Лазерні діоди (ЛД).

НЕ 2.3. Типи лазерів. Фабрі-Перо-лазер. РОЗ-лазери і РБВ-лазери. Лазерні діоди із зовнішнім резонатором.

НЕ 2.4. Приймальні оптоелектронні модулі (ПРОМ). Приймальні оптоелектронні модулі (ПРОМ). P-I-N-фотодіоди. Лавинні фото діоди. Технічні характеристики фотоприймачів.

НЕ 2.5. Оптичні підсилювачі. Ретрансляторі. Повторювачі. Оптичні підсилювачі. Напівпровідникові підсилювачі. Інші типи підсилювачів.

НЕ 2.6. Волоконно-оптичні підсилювачі. Волоконно-оптичні підсилювачі. Схеми накачування ербієвого волокна ВОП.

Змістовний модуль 3. «Системи ВОСП»

НЕ 3.1. Сигнали та системи передавання інформації. Сигнали та системи передавання інформації. Системи передавання цифрових сигналів. Основні поняття і термінологія. Структура систем зв'язку. Способи передавання сигналів.

НЕ 3.2. Структура волоконно-оптичної лінії зв'язку. Особливості каналів зв'язку. Структура волоконно-оптичної лінії зв'язку. Переваги використання оптичних волокон у системах зв'язку.

НЕ 3.3. Проектування ВОЛЗ. Аналіз смуги пропускання ВОЛЗ. Втрати і обмеження в лініях зв'язку.

НЕ 3.4. Системи ПЦІ. Системи зв'язку плезіохронної цифрової ієрархії. Найбільш вживані лінійні коди. Системи зв'язку рівнів Е1-Е4.

НЕ 3.5. Системи СЦІ. Системи і обладнання СЦІ. Апаратура СЦІ (SDH).
НЕ 3.6. Методи ущільнення в ВОСП. Частотне та часове ущільнення. Модове та поляризаційне ущільнення. Багатохвильове ущільнення оптичних несучих (WDM). Оптичне часове ущільнення (OTDM).

1. Мета: Навчальна дисципліна формує базові уявлення студентів про фізику хвилеводних систем і пристроїв, принципи створення, структуру та складові елементи оптичних інтегральних схем (ОІС) та пристроїв, побудованих на їх основі.

Курс є одним з головних при підготовці фахівців Спеціальності – 172 Телекомунікації та радіотехніка.

Вивчення даної дисципліни сприятиме набуттю наступних компетентностей, визначених Освітньо-науковою програмою:

- **ІК** – Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми під час професійної діяльності у галузі оптики та оптичної обробки інформації й у суміжних областях (приладобудування, нанофізика, оптичний зв'язок, біомедична оптика, екологія тощо) або у процесі навчання за програмами вищого рівня, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог;
- **ЗК1** – знання спеціальних розділів фундаментальних дисциплін, у обсязі, необхідному для освоєння професійно-орієнтованих дисциплін;
- **ЗК2** – здатність до аналізу та синтезу;
- **ЗК5** – уміння працювати як індивідуально, так і в команді;
- **ЗК6** – уміння ефективно спілкуватися на професійному та соціальному рівнях;
- **ЗК7** – розуміння необхідності навчання протягом життя та трансферу набутих знань;
- **ФК1** – розуміння тенденцій розвитку й сутності актуальних новітніх розробок в області вчення про світло та його застосувань для розв'язання нагальних глобальних проблем (інформатизація, безпекова сфера, нанотехнології, екологія, біомедицина);
- **ФК3**– знання і розуміння сучасних технологічних процесів та систем технологічної підготовки виробництва; технічних характеристик, конструктивних особливостей, призначення і правил експлуатації оптичного та оптико-електронного устаткування й обладнання;
- **ФК4** – здатність застосовувати інформаційно-комунікаційні технології та навички програмування для розв'язання типових завдань дослідницької та інженерної діяльності;
- **ФК5** – здатність використовувати отримані знання та уміння для роботи в промисловості й розуміти необхідність дотримання правил техніки безпеки при виконанні посадових обов'язків;
- **ФК6** – здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для створення нових та при обслуговуванні існуючих оптичних і оптико-електронних систем та їх складових;
- **ФК10** – здатність самостійно проектувати оптичні та оптико-електронні системи та їх елементи з урахуванням усіх аспектів поставленої задачі;
- **ФК11** – здатність оцінювати доцільність та можливість застосування нових методів і технологій в задачах синтезу комп'ютеризованих оптичних та оптико-електронних систем.

2. Результати навчання:

У результаті вивчення даної дисципліни студент має

Знати:

- **ЗН1** – здатність продемонструвати знання і розуміння математичних методів та фізичних принципів, необхідних для розв'язування інженерних задач й виконання досліджень в області оптики та її застосувань;
- **ЗН2** – здатність продемонструвати знання сучасного стану досліджень, тенденцій розвитку, найбільш важливих розробок та новітніх технологій у галузі оптики;
- **ЗН3** – здатність продемонструвати поглиблені знання в обраній спеціалізації, включаючи знайомство з новітніми публікаціями у міжнародних періодичних фахових виданнях;
- **ЗН4** – здатність продемонструвати розуміння впливу технічних рішень у суспільному, економічному, соціальному та екологічному контексті.

Уміти:

- **УМ1** – обирати адекватні методи аналізу й моделювати явища та процеси в динамічних системах, а також аналізувати отримані результати;
- **УМ3** – застосовувати отримані знання й практичні навички, адаптувати результати наукових досліджень при створенні нових та експлуатації існуючих оптичних та оптико-електронних комп'ютеризованих систем та їх складових;
- **УМ4** – застосовувати набуті знання і розуміння для розв'язування задач синтезу та аналізу елементів та систем, характерних обраній спеціалізації;
- **УМ5** – здійснювати пошук, аналізувати і критично оцінювати інформацію з різних джерел;
- **УМ6** – ефективно працювати як індивідуально, так і у складі команди;
- **УМ9** – критично аналізувати основні показники функціонування системи й оцінювати використані технічні рішення та обладнання;
- **УМ12** – самостійно спроектувати систему та її елементи з урахуванням усіх аспектів поставленої задачі;
- **Ком2** – уміння представляти та обговорювати отримані результати й здійснювати трансфер набутих знань;
- **АіВ1 –** здатність адаптуватись до нових умов та самостійно приймати рішення;
- **АіВ4 –** здатність демонструвати розуміння засад охорони праці та їх застосування.

3. Опис навчальної дисципліни

3.1. Загальна інформація

Форма навчання	Рік підготовки	Семестр	Кількість		Кількість годин						Вид підсумкового контролю
			кредитів	годин	лекції	практичні	семінарські	лабораторні	Самост. робота	індивідуальні завдання	
Денна	3	6	4	120	30	н.п.	н.п.	30	60	н.п.	екзамен
Заочна											

3.2. Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
		л	п	Лаб	інд	с.р.		л	п	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1. Параметри оптичних волокон												
Тема 1. Фізичні характеристики оптичного волокна.		3				5						
Тема 2. Параметри оптичного волокна. Дисперсія.		3		4		5						
Тема 3. Нелінійні оптичні явища в одномодових волокнах.		2				5						
Тема 4. Оптичні кабелі.		2		4		5						
Разом за змістовим модулем 1		10		8		20						
Змістовий модуль 2. Компоненти ВОСП												
Тема 5. Волоконно-оптичні відгалужувачі, розгалужувачі і перемикачі.		3		4		5						
Тема 6. Джерела випромінювання.		3				5						
Тема 7. Типи лазерів. Приймачі.						5						
Тема 8. Оптичні підсилювачі. Ербієвий підсилювач.		3		4		5						
Разом за змістовим модулем 2		10		8		20						
Змістовий модуль 3. ВОСП												
Тема 9. Структура волоконно-оптичної лінії зв'язку. Розрахунок регенераційної ділянки.		2		8		5						
Тема 10. ПЦ і СЦ ієрархії сигналів. ПЦІ і СЦІ системи передавання.		3		6		5						
Тема 11. Багатохвильове ущільнення.		2				5						
Тема 12. Методи ущільнення в ВОСП		2				5						
Разом за змістовим модулем 3		10		14		20						
УСЬОГО ГОДИН	**120**	**30**		**30**		**60**						

3.3. Теми семінарських занять

Семінарські заняття непередбачені

3.4. Теми практичних занять

Практичні заняття непередбачені

3.5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми
1	Визначення геометричних параметрів оптичного волокна.
2	Дослідження втрат, що виникають при з'єднанні оптичних волокон
3	Дослідження принципу дії оптичного ізолятора.
4	Розрахунок довжини ділянки регенерації ВОЛЗ.

3.6. Тематика індивідуальних завдань
Індивідуальні завдання непередбачені

3.7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми
1	Сучасні лінійні підсилювачі, для 4-го та 5-го вікна прозорості.
2	Сучасні перспективні оптичні волокна.
3	Компенсатори дисперсії.
4	Сучасні оптичні розніми
5	Сучасний частотний план для SDH систем.
6	Структура фреймів для систем SONET ієрархії. Структура фреймів для систем SDH ієрархії.
7	Перспективні комплектуючи SDH систем. Продукція провідних виробників систем синхронної ієрархії.

[*] *Самостійна робота студентів складається з підготовки до лекційних і лабораторних занять, опрацювання лекційного матеріалу, що становить 50% від аудиторного навантаження (30 годин) та опанування тем, визначених для самостійного вивчення (30 годин).*

4. Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Оцінка за національною шкалою	**Оцінка за шкалою ECTS**	
	Оцінка (бали)	**Пояснення за розширеною шкалою**
Відмінно	A (90-100)	відмінно
Добре	B (80-89)	дуже добре
	C (70-79)	добре
Задовільно	D (60-69)	задовільно
	E (50-59)	достатньо
Незадовільно	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання
	F (1-34)	(незадовільно) з обов'язковим повторним курсом

5. Засоби оцінювання

Опитування на лекціях, допуск та захист лабораторних робіт, поточні та підсумкові (модульні) контрольні роботи, тестування, опитування на екзамені.

5.1. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота												Підсумковий тест (іспит)	Сума
Змістовий модуль 1				Змістовий модуль 2				Змістовий модуль 3				40	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12		
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		

5.2. Критерії оцінки оформлення звіту лабораторної роботи

Кількість балів	Критерій оцінки
1-2	Студент невчасно здав звіт, відповіді фрагментарні і неточні
3-4	Студент вчасно здав звіт але звіт оформлений з незначними помилками або дав не вичерпні відповіді
5	Студент вчасно здав звіт і успішно захистив його

5.3. Критерії оцінки розв'язування задач

1	Студент в основному правильно запропонував схему розв'язання задачі
1.5	Студент розв'язав одну задачу з незначними помилками
2	Студент правильно розв'язав задачу

5.4. Питання які виносяться на іспит

1. Основні елементи оптичного волокна. Типи і характеристики оптичних волокон.
2. Властивості оптичних волокон як передаючого середовища. Поглинання в оптичних волокнах.
3. Дисперсія в ВОЛЗ.
4. Геометричні параметри волокна.
5. Наближена оцінка міжмодової дисперсії багатомодового волокна.
6. Нелінійні оптичні явища в одномодових волокнах.
7. Особливості конструкції оптичних кабелів.
8. Аналіз втрат, які виникають у процесі монтажу оптичних кабелів зв'язку.
9. Методи з'єднання оптичних волокон. Зварні з'єднання. Клейові з'єднання. Механічні з'єднувачі. Рознімні з'єднання
10. Волоконно-оптичні відгалужувачі і розгалужувачі.
11. Волоконно-оптичні перемикачі. Електромеханічні перемикачі. Термооптичні перемикачі.
12. Електрооптичні перемикачі. Оптичні ізолятори.
13. Джерела випромінювання. Світлодіоди. Лазерні діоди (ЛД). Фабрі-Перо-лазер.
14. Лазери з розподіленим оберненим зв'язком (РОЗ-лазери) і розподіленим брегівським відбиванням (РБВ-лазери) Лазерні діоди із зовнішнім резонатором.
15. Найважливіші характеристики джерел випромінювання для ВОЛЗ.
16. P-I-N-фотодіоди. Лавинні фотодіоди. Технічні характеристики фотоприймачів.
17. Підсилювачі Фабрі-Перо.
18. Напівпровідникові лазерні підсилювачі.
19. Волоконно-оптичні підсилювачі.
20. Схеми накачування ербієвого волокна ВОП.
21. Структура волоконно-оптичної лінії зв'язку. Аналіз смуги пропускання ВОЛЗ.
22. Втрати і обмеження в лініях зв'язку.
23. Системи зв'язку плезіохронної цифрової ієрархії. Первинний цифровий канал. Рівні ПЦІ.
24. Найбільш вживані лінійні коди.
25. Системи зв'язку для ліній зв'язку первинної цифрової ієрархії Е1-Е4.
26. Системи і обладнання синхронної цифрової ієрархії. Синхронна цифрова ієрархія та мережі.
27. Метод частотного ущільнення (FDM). Метод часового ущільнення.
28. Модове ущільнення. Ущільнення за поляризацією.
29. Багатохвильове ущільнення оптичних несучих (WDM).
30. Оптичне часове ущільнення (OTDM).

5.5. Критерії оцінки усної або письмової відповіді студентів

Кількість балів	Критерій оцінки
1.6-2	Студент дає повну і точну відповідь на поставлене запитання або бере активну участь в обговоренні усіх питань теми і суттєво доповнює відповіді своїх товаришів.
1-1.5	Студент при відповіді на питання припускається незначних неточностей, які не впливають на суть відповіді або правильно доповнює відповіді своїх товаришів на 50% питань теми.
0.6-0.9	Студент при відповіді на питання припускається незначних помилок, які виправляє за допомогою викладача не впливають на суть відповіді або правильно доповнює відповіді своїх товаришів на 30% питань теми.
0.1-0.5	Студент за допомогою викладача фрагментарно відповідає на запитання, проте не в повній мірі володіє мінімальним рівнем знань з даного питання
0	Студент не відповідає на поставлене запитання і не бере участі в обговоренні питань теми.

5.6. Запитання для модульного контролю з лекційного курсу

Модуль 1

1. Основні елементи оптичного волокна. Типи і характеристики оптичних волокон.
2. Властивості оптичних волокон як передаючого середовища. Поглинання в оптичних волокнах. Дисперсія в ВОЛЗ.
3. Геометричні параметри волокна. Наближена оцінка міжмодової дисперсії багатомодового волокна.
4. Нелінійні оптичні явища в одномодових волокнах.
5. Особливості конструкції оптичних кабелів.
6. Аналіз втрат, які виникають у процесі монтажу оптичних кабелів зв'язку.
7. Методи з'єднання оптичних волокон. Зварні з'єднання. Клейові з'єднання. Механічні з'єднувачі. Рознімні з'єднання
8. Волоконно-оптичні відгалужувачі і розгалужувачі.

Модуль 2

1. Волоконно-оптичні перемикачі. Електромеханічні перемикачі. Термооптичні перемикачі.
2. Електрооптичні перемикачі. Оптичні ізолятори.
3. Джерела випромінювання. Світлодіоди. Лазерні діоди (ЛД). Фабрі-Перо-лазер.
4. Лазери з розподіленим оберненим зв'язком (РОЗ-лазери) і розподіленим брегівським відбиванням (РБВ-лазери) Лазерні діоди із зовнішнім резонатором.
5. Найважливіші характеристики джерел випромінювання для ВОЛЗ.
6. P-I-N-фотодіоди. Лавинні фотодіоди. Технічні характеристики фотоприймачів.
7. Підсилювачі Фабрі-Перо.
8. Напівпровідникові лазерні підсилювачі.
9. Волоконно-оптичні підсилювачі.
10. Схеми накачування ербієвого волокна ВОП.

Модуль 3

1. Структура волоконно-оптичної лінії зв'язку. Аналіз смуги пропускання ВОЛЗ.
2. Втрати і обмеження в лініях зв'язку.
3. Системи зв'язку плезіохронної цифрової ієрархії. Первинний цифровий канал. Рівні ПЦІ.
4. Найбільш вживані лінійні коди.
5. Системи зв'язку для ліній зв'язку первинної цифрової ієрархії Е1-Е4.
6. Системи і обладнання синхронної цифрової ієрархії. Синхронна цифрова ієрархія та мережі.
7. Метод частотного ущільнення (FDM). Метод часового ущільнення.
8. Модове ущільнення. Ущільнення за поляризацією.
9. Багатохвильове ущільнення оптичних несучих (WDM).
10. Оптичне часове ущільнення (OTDM).

5.7. Запитання для модульного контролю з лабораторних робіт

Лабораторна робота №1.

Визначення геометричних параметрів оптичного волокна

1. Які типи оптичних волокон найбільш вживані?
2. Які профілі показника заломлення їм відповідають?
3. Що таке відносна різниця показників заломлення оболонки і ядра хвилеводу?
4. Що таке числова апертура?
5. Поясніть що собою представляє собою хвиля відсічки.
6. Яка кількість мод розповсюджується в світловоді (градієнтному та ступінчастому)?

Лабораторна робота №2

Дослідження втрат, що виникають при з'єднанні оптичних волокон

1. Які ви знаєте джерела втрат потужності випромінювання при з'єднанні оптичних волокон?
2. Що таке френелівські втрати?
3. Опішить втрати, які виникають внаслідок разузгодження геометричних характеристик оптичних волокон.

Лабораторна робота №3

Дослідження принципу дії оптичного ізолятора

1. Причини необхідності застосування оптичного ізолятора.
2. Поясніть принцип дії оптичного ізолятора.
3. Що собою являє комірка Фарадея?
4. Поясніть принцип дії оптичного циркулятора.

Лабораторна робота №4

Розрахунок довжини ділянки регенерації ВОЛЗ

1. Опишить явище дисперсії в ВОЛЗ
2. Основні енергетичні втрати, які виникають у ВОСП
3. Яким чином розраховують втрати в у ВОЛЗ?
4. Яким чином розраховувати частотну смугу ВОЛЗ?

6. Форми поточного та підсумкового контролю

Опитування на лекціях, допуск та захист лабораторних робіт, поточні та підсумкові (модульні) контрольні роботи, тестування, опитування на екзамені.

7. Рекомендована література

7.1. Базова

1. Мохунь І.І., Вікторовська Ю.Ю. «Елементи волоконно-оптичних систем передавання», Черновцы 2019, 138 с.
2. Мохунь І.І. Волоконно-оптичні лінії зв'язку. Пасивні та активні елементи ВОСП. Навчальний посібник.– Чернівці, Рута, 2002,– 79 с.
3. Мохунь І.І. Волоконно-оптичні системи передачі. Навчальний посібник.– Чернівці, Рута, 2002,– 65 с.
4. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. – Москва, Техносфера, 2006,- 496. (2 прим.).
5. Каток В.Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку. – Київ; 1998, – 228 с. (1 прим. та електронна версія, виставлена в локальній мережі ІТФ).
6. Мохунь І.І, Віктровська Ю.Ю. Інтегральна оптика в інформаційній техніці. – Чернівці, 2018, – 79 с.

7.2. Допоміжна

1. Скляров О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи. – М.; Салон-Р, 2001,– 240 с.
2. Вербовецкий А.А. Основы проектирования цифровых оптоэлектронных систем связи. – М.; Радио и связь, 2000, – 158 с.
3. Андрушко Л.М. и др. ВОЛС (Волоконные оптические линии связи). Справочник. – К.; Техніка, 1988, – 239 с.
4. Козане А., Флере Ж., Мэтр Г., Руссо М. Оптика и связь. – М.; Мир, 1984, – 504 с.
5. Стандарти Міжнародного консультативного комітету по телефонії і телеграфії (МККТТ) в галузі цифрових і оптичних систем та пристроїв зв'язку.
6. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети (принципы, технологии, протоколы). – Санкт-Петербург; 1999, – 670 с.
7. Андрушко Л.М., Горднев И.И., Панфилов И.П. Волоконно-оптические линии связи. Справочник. – М.; Радио и связь, 1984, 136 с.
8. Основы волоконно-оптической связи /Под. ред. Борноски М.К./. – М.; Сов. Радио, 1980, – 232 с.
9. Основы волоконно-оптической связи. – М.; Радио и связь, 1981, – 230 с.

10. Горднев И.И., Курбатов Н.Д. Линии связи. – М.; Связь, 1980, – 440 с.
11. Справочник по лазерной технике/Под. ред.Байоробина Ю.В., Криксунова Л.З., Литвиненко О.Н./ – Киев, Техніка, 1978, – 288 с.

8. Інформаційні ресурси

1. Хвилеводна оптика. Волоконно-оптичні лінії та системи передавання (Цифровий університет. ЧНУ)