

**ГОУ ВПО РОССИЙСКО-АРМЯНСКИЙ (СЛАВЯНСКИЙ)
УНИВЕРСИТЕТ**

Составлен в соответствии с государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи и Положением «Об УМКД РАУ».

УТВЕРЖДАЮ:



«21» июля 2023

Утвержден Ученым Советом ИФИ
протокол № 33

Инженерно-физический институт

Кафедра Телекоммуникаций

Автор: канд. физ.-мат. наук, профессор Багдасарян О.В.
Ученое звание, ученая степень, Ф.И.О

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Дисциплина: Б1.В.12 Оптические телекоммуникационные системы
Код и название дисциплины согласно учебному плану

Для бакалавриата:

**Направление: 11.03.02 Инфокоммуникационные
технологии и системы связи**

ЕРЕВАН

Структура и содержание УМКД

1. Аннотация

1.1. Учебная программа дисциплины «Оптические телекоммуникационные системы» ориентирована на подготовку высокопрофессиональных кадров в области систем оптической связи, которые должны обладать основополагающими знаниями и навыками в области теории и техники оптической связи, включая все основные пассивные и активные элементы применяемые в организации оптической связи на любые расстояния, а также все основные методы организации многопользовательского доступа.

1.2. Данная дисциплина теснейшим образом взаимосвязана с дисциплинами: электромагнитные поля и волны, электроника, общая теория связи, цифровая обработка сигналов, построение телекоммуникационных сетей и с последующими УМКД магистратуры.

1.3. Студент должен:

- **знать** основы по курсам: математического анализа, аналитической геометрии, векторной алгебры и векторного анализа, дифференциальных уравнений, по общим курсам физики – оптика, атомная физика, электричество и магнетизм, физика полупроводников;
- **уметь** применять знания при решении соответствующих задач;
- **владеть** навыками интегрального, дифференциального, векторного и матричного исчислений.

1.4. Дисциплины, изучение которых является необходимой базой для освоения данной дисциплины следующие - физика I, II, III, IV, математика I, II, III, IV, оптика, электроника, электромагнитные поля и волны.

2. Содержание

2.1. **Цель дисциплины** - ознакомление студентов с физическими принципами распространения световых волн в волоконно-оптических системах связи, с принципами работы основных составляющих элементов оптической связи - передатчики оптических сигналов, оптические волокна, модуляторы, переключатели, фильтры, приемники оптических сигналов и системы многопользовательского доступа.

Задача - ознакомить студентов с основами передачи и приема оптических сигналов, структуры и построения различных систем оптической связи, дать представление о

возможностях систем оптической связи, ознакомить с основными измерительными приборами, применяемыми в эксплуатации и наладивании систем оптической связи.

2.2. После изучения дисциплины студент должен:

- **знать** что из себя представляет система волоконно–оптической связи, физические принципы работы основных элементов оптической связи, методы реализации различных систем многопользовательского доступа;
- **уметь** производить оценки области применимости систем волоконно–оптической связи и определения их рабочих характеристик;
- **владеть** навыками практической работы с оптическими волокнами, устройствами современной измерительной аппаратуры.

2.3. Трудоемкость дисциплины: в академических часах – 180, в кредитах - 5

2.3.1 Объем дисциплины и виды учебной работы

Виды учебной работы	Всего, в акад. часах
1. Общая трудоемкость изучения дисциплины по семестрам, в т. ч.:	180
1.1. Аудиторные занятия, в т. ч.:	70
1.1.1. Лекции	18
1.1.2. Практические занятия, в т. ч.	52
1.1.2.1. Обсуждение прикладных проектов	-
1.1.2.2. Кейсы	-
1.1.2.3. Деловые игры, тренинги	-
1.1.2.4. Контрольные работы	-
1.1.2.5. Решение задач	-
1.1.3. Семинары	34
1.1.4. Лабораторные работы	18
1.1.5. Другие виды (указать)	-
1.2. Самостоятельная работа, в т. ч.:	74
1.2.1. Подготовка к экзаменам	
1.2.2. Другие виды самостоятельной работы, в т.ч. (указать)	
1.2.2.1. Письменные домашние задания	
1.2.2.2. Курсовые работы	
1.2.2.3. Эссе и рефераты	
1.2.2.4. Другое (указать)	
1.3. Консультации	
1.4. Другие методы и формы занятий	
Итоговый контроль (экзамен, зачет, диф. зачет - указать)	Экзамен 36 ч.

2.3.2. Распределение объема дисциплины по темам и видам учебной работы

Разделы и темы дисциплины	Всего (ак. часов)	Лекционные занятия (ак. часов)	Семинарские занятия (ак. часов)	Практические занятия (ак. часов)	Лабораторные работы (ак. часов)
1	2	3	4	5	6
МОДУЛЬ 1. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ	22	12	-	-	10
Введение	1	1	-	-	-
Раздел 1. Физические основы распространения электромагнитных волн оптического диапазона в диэлектрических волноводах	11	5	-	-	6
<i>Тема 1.1. Влияние границ раздела сред на распространение оптического излучения</i>	4	2	-	-	2
<i>Тема 1.2. Оптическое волокно как среда распространения электромагнитных волн</i>	6	2	-	-	4
<i>Тема 1.3. Характерные параметры оптических волокон</i>	1	1	-	-	-
Раздел 2. Механизмы потерь, дисперсионных искажений и нелинейных явлений в оптических волокнах	10	6	-	-	4
<i>Тема 2.1 Основные механизмы потерь в оптических волноводах</i>	6	2	-	-	4
<i>Тема 2.2. Дисперсионные искажения оптических сигналов в волокнах</i>	2	2	-	-	-
<i>Тема 2.3. Нелинейные явления в оптических волокнах</i>	2	2	-	-	-
МОДУЛЬ 2. ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ СВЯЗИ	10	6	-	-	4
Раздел 3. Методы изготовления оптических волокон	10	6	-	-	4
<i>Тема 3.1. Изготовление оптических волокон</i>	2	2	-	-	-
<i>Тема 3.2. Соединения оптических волокон</i>	6	2	-	-	4
<i>Тема 3.3. Оптические кабели связи</i>	2	2	-	-	-
МОДУЛЬ 3. ЧАСТОТНОЕ УПЛОТНЕНИЕ КАНАЛОВ СВЯЗИ	16	14	-	-	2
Раздел 4. Волоконно-оптические системы связи с частотным разделением каналов	16	14	-	-	2
<i>Тема 4.1. Организация частотного уплотнения каналов оптической связи</i>	4	2	-	-	2
<i>Тема 4.2. Оптические фильтры и их основные характеристики</i>	4	4	-	-	-
<i>Тема 4.3. Физические основы работы интерферометра Фабри-Перо</i>	4	4	-	-	-
<i>Тема 4.4. Волоконно-оптические решетки Брэгга</i>	4	4	-	-	-
МОДУЛЬ 4. УСИЛИТЕЛИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ	10	10	-	-	-
Раздел 5. Физика и техника оптических усилителей	10	10	-	-	-
<i>Тема 5.1. Методы усиления оптических сигналов</i>	6	6	-	-	-
<i>Тема 5.2. Принципы работы эрбиевого волоконно-оптического и полупроводникового оптического усилителя</i>	4	4	-	-	-
МОДУЛЬ 5. ТЕХНИКА КОММУТАЦИИ В СИСТЕМАХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ	14	12	-	-	2
Раздел 6. Модуляторы и переключатели в системах волоконно-оптической связи	8	6	-	-	2
<i>Тема 6.1. Типы модуляции и способы их реализации в системах волоконно-оптической связи</i>	4	2	-	-	2
<i>Тема 6.2. Переключатели каналов оптической связи</i>	4	4	-	-	-
Раздел 7. Временное и кодовое разделение каналов волоконно-оптической связи	6	6	-	-	-
<i>Тема 7.1. Физика и техника временного разделения каналов связи</i>	4	4	-	-	-
<i>Тема 7.2. Физика и техника кодового разделения каналов связи</i>	2	2	-	-	-
ИТОГО	70	54	-	-	18

2.3.3 Содержание разделов и тем дисциплины

МОДУЛЬ 1. РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ОПТИЧЕСКИХ ВОЛОКНАХ

Введение

Предмет дисциплины и её задачи. Структура курса, виды и методы подготовки и контроля. Рекомендуемая литература.

История развития волоконно-оптической связи. Открытые системы оптической связи: преимущества, недостатки. Закрытые линии оптической связи. Волоконно-оптические линии связи: недостатки, преимущества, области применения. Блок-схема одноканальной волоконно-оптической системы связи.

([1] Введение, Гл.1, [2] Гл.1, Гл.3, [3] Введение, [4] Гл.1)

Раздел 1. Физические основы распространения электромагнитных волн оптического диапазона в диэлектрических волноводах

Тема 1.1. Влияние границ раздела сред на распространение оптического излучения

Спектр электромагнитных волн. Законы Снеллиуса. Полное внутреннее отражение от границы раздела двух диэлектрических сред. Критический угол. Использование оптического диапазона для волоконно-оптических линий связи.

([1] §1.2.1, §1.3.2., [2] Гл. 4, [3] Введение, §1.1.1, §1.1.2, [4] §2.2)

Тема 1.2. Оптическое волокно как среда распространения электромагнитных волн

Распространение электромагнитных волн в оптических волокнах. Ввод света в оптическое волокно. Числовая апертура волокна. Понятие оптической моды. Распространяющиеся, поверхностные и вытекающие волны.

([1] §1.3, [2] Гл.5, [3] §1.1.2, §1.1.3, [4] §2.2)

Тема 1.3. Характерные параметры оптических волокон

Конструкции оптических волокон. Типы оптических волокон: ступенчатое и градиентное, одномодовое и многомодовое волокна. Число мод в многомодовом оптическом волокне. Диаметр модового поля. Длина отсечки. Рабочие длины волн волоконно-оптической связи.

([1] §2.1, §2.2, [2] Гл.5, [3] §1.1.4, §1.1.5, §1.1.6, [4] §2.2)

Раздел 2. Механизмы потерь, дисперсионных искажений и нелинейных явлений в оптических волокнах

Тема 2.1 Основные механизмы потерь в оптических волноводах

Методы изготовления оптических волокон. Механизмы потерь в оптических волокнах. Рассеяние, поглощение, макро- и микроизгибы. “Окна прозрачности” оптических волокон.

([1] §2.3, §2.4, §2.5, §6.1, §6.2, [2] Гл.6, [3]§1.1.7, [4]§2.2)

Тема 2.2. Дисперсионные искажения оптических сигналов в волокнах

Дисперсионные искажения оптических сигналов, распространяющихся по оптическому волокну. Типы дисперсии в оптических волокнах. Современные методы компенсации дисперсии в оптических волокнах: с помощью специальных компенсирующих дисперсию волокон и чирпованных волоконно-оптических Брэгговских решеток.

([1] §6.3, [2] Гл.6, [3] §3.6.5, §3.6.6, §1.1.6, [4] §2.2)

Тема 2.3. Нелинейные явления в оптических волокнах

Нелинейные явления в оптических волокнах: стимулированные (вынужденные) Рамановское и Бриллюэновское рассеяния, четырехволновое смешение, фазовая само- и кроссмодуляции.

([1]§6.4, [2] Гл.6, [3] §3.6.7, §3.7, [4] §2.2)

МОДУЛЬ 2. ОПТИЧЕСКИЕ КАБЕЛИ СВЯЗИ

Раздел 3. Методы изготовления оптических волокон

Тема 3.1. Изготовление оптических волокон

Материалы оптических волокон, методы изготовления оптических волокон. Особенности технологических установок. Специальные оптические волокна.

([2] Гл.7, [7] Ch.6)

Тема 3.2. Соединения оптических волокон

Соединения оптических волокон: разъемные и неразъемные соединения. Соединения с помощью механических соединителей (коннекторов), сплайса и сварки. Вносимые потери: внутренние и внешние.

([1] Гл.3, §3.2.9, §3.2.10, §3.4.1, §3.4.2, [2] Гл.11, [3] Гл.1.2, [4] Гл.3.1, 3.2)

Тема 3.3. Оптические кабели связи

Типы оптических кабелей. Конструктивные особенности оптических кабелей связи. Прокладка оптических кабелей.

([1] Гл.11, §11.2, [2] Гл.7, Гл.14, [7] Ch.6)

МОДУЛЬ 3. ЧАСТОТНОЕ УПЛОТНЕНИЕ КАНАЛОВ СВЯЗИ

Раздел 4. Волоконно-оптические системы связи с частотным разделением каналов

Тема 4.1. Организация частотного уплотнения каналов оптической

связи

Структура волоконно-оптической системы связи с частотным уплотнением каналов (WDM): принцип работы и элементная база. Оптические разветвители. Волновые мультиплексоры и демультимплексоры. Опто-волоконные микро-оптические ответвители, ответвители на связанных волокнах и асимметричные ответвители.

([1] Гл.8, §8.2, [4] §3.4, [7] Ch.9)

Тема 4.2. Оптические фильтры и их основные характеристики

Оптические фильтры, используемые в волоконно-оптических системах связи с частотным уплотнением каналов. Принцип работы и характеристики, спектральная полоса. Фильтры пропускательного и отражательного типа.

([1] Гл.8, §8.3 - §8.6, [4] §3.4, [7] Ch.9)

Тема 4.3. Физические основы работы интерферометра Фабри-Перо

Интерферометр Фабри-Перо как фильтр пропускательного типа. Интерферометры Фабри-Перо с металлическими и многослойными диэлектрическими зеркалами. Спектральные характеристики интерферометров Фабри-Перо.

([1] Гл.8, §8.3, [7] 5.8.2)

Тема 4.4. Волоконно-оптические решетки Брэгга

Волоконно-оптическая решетка Брэгга как фильтр отражательного типа. Однородные, аподизированные решетки Брэгга, решетки Брэгга со скачком фазы, чирпованные решетки Брэгга. Спектральные характеристики решеток Брэгга.

([1] Гл.8, §8.5, [7] 5.7.2, 5.8.3)

МОДУЛЬ 4. УСИЛИТЕЛИ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Раздел 5. Физика и техника оптических усилителей

Тема 5.1. Методы усиления оптических сигналов

Методы усиления оптических сигналов в волоконно-оптических системах связи. Преимущества полностью оптических усилителей перед электро-оптическими регенераторами. Типы оптических усилителей: волоконные и полупроводниковые оптические усилители.

([1] Гл.7, [3] Гл.1.6, [4] Гл.4.4, [7] Гл.5.2, [8] Ch.6)

Тема 5.2. Принципы работы эрбиевого волоконно-оптического и полупроводникового оптического усилителя

Принцип работы эрбиевого волоконно-оптического усилителя (EDFA) на длине волны 980 и 1480 нм. Другие типы волоконно-оптических усилителей. Принцип работы полупроводникового оптического усилителя (SOA).

([1] Гл.7, §7.3, §7.4, §7.5, [3] Гл.1.6, [4] Гл.4.4, [7] Гл.5.2, [8] Ch.6.2, 6.3, 6.4)

МОДУЛЬ 5. ТЕХНИКА КОММУТАЦИИ В СИСТЕМАХ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Раздел 6. Модуляторы и переключатели в системах волоконно-оптической связи

Тема 6.1. Типы модуляции и способы их реализации в системах волоконно-оптической связи

Оптические передатчики. Методы модуляции, используемые в оптических передатчиках: внутренняя и внешняя модуляции. Характеристики модуляторов.

([3] Гл.2.3, [7] Гл.5.9, 7.1)

Тема 6.2. Переключатели каналов оптической связи

Электро-оптические модуляторы и переключатели. Акусто-оптические модуляторы, переключатели и дефлекторы, основанные на явлении Брэгговской дифракции.

([2] Гл.12, [3] Гл.1.3, , [4] Гл.3.7, Гл.5.2, [7] Гл.5.9)

Раздел 7. Временное и кодовое разделение каналов волоконно-оптической связи

Тема 7.1. Физика и техника временного разделения каналов связи

Физические основы временного разделения каналов связи. Асинхронная система разделения каналов. Синхронная система разделения каналов.

([4] 5.1, [8] 8.4)

Тема 7.2. Физика и техника кодового разделения каналов связи

Физические основы кодового разделения каналов связи. Основная единица кодовой последовательности. Комбинированная частотно-импульсная система кодового разделения каналов.

([8] 8.6)

2.3.4. Краткое содержание практических занятий

1. Конструкция оптического волокна, обработка концов волокна, ввод оптического излучения в волокно, измерение числовой апертуры.
2. Методы измерения потерь в оптических волокнах. Оптический рефлектометр, принципы его работы и представление результатов измерений.
3. Передача и прием оптических сигналов в одноканальной волоконно-оптической линии связи.
4. Определение качества передачи цифровых сигналов по волоконно-оптической линии связи. Глаз-диаграмма и методы измерения битовых ошибок.

2.4 . Материально-техническое обеспечение дисциплины

- Учебные методические пособия;
- Лабораторный стенд для обеспечения практических занятий;
- Источник лазерного излучения, многомодовое волокно, фотоприемник;
- Вычислительная техника;
- Проектор.

2.5. Распределение весов по модуля и формам контроля

Формы контролей	Веса форм текущих контролей в результирующих оценках текущих контролей			Веса форм промежуточных контролей в оценках промежуточных контролей			Веса оценок промежуточных контролей и результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей			Веса итоговых оценок промежуточных контролей в результирующей оценке промежуточных контролей	Веса результирующей оценки промежуточных контролей и оценки итогового контроля в результирующей оценке итогового контроля
	M1 ¹	M2	M3	M1	M2	M3	M1	M2	M3		
Вид учебной работы/контроля											
Контрольная работа					1	1					
Тест											
Курсовая работа											
Лабораторные работы		0.6	0.6								
Письменные домашние задания		0.4	0.4								
Реферат											
Эссе											
Другие формы (Указать)											
Другие формы (Указать)											
Веса результирующих оценок текущих контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								0.4	0.4		
Веса оценок промежуточных контролей в итоговых оценках промежуточных контролей								0.6	0.6		
Вес итоговой оценки 1-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей											
Вес итоговой оценки 2-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей										0.5	
Вес итоговой оценки 3-го промежуточного контроля в результирующей оценке промежуточных контролей										0.5	
Вес результирующей оценки промежуточных контролей в результирующей оценке итогового контроля											0.4
Экзамен/зачет (оценка итогового контроля)											(Экзамен) 0.6
	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

¹ Учебный Модуль

3. Теоретический блок

1. Р.Фриман, “Волоконно-оптические системы связи”, пер. с англ. Под редакц. Н.Н. Слепова, Техносфера, Москва, 2003.
2. Д.Дж. Стерлинг, “Техническое руководство по волоконной оптике”, Изд. “Лори”, Москва, 1998.
3. А.Б. Иванов, “Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения”, М.: “Компания Сайрус Системс”, 1999.
4. Р.Р. Убайдулаев, “Волоконно-оптические сети”, М.: Эко-Трендз, 2001 г.
5. J. Hecht, “Understanding Fiber Optics” (3rd ed.), 1999.
6. J.M. Senior, “Optical Fiber Communications, Principles and Practice”, Second Edition, Prentice Hall, 1992.
7. H. J.R. Dutton, “Understanding Optical Communications”, IBM Corporation, 1998.
8. G.P. Agrawal, “Fiber-Optic Communication Systems”, Third Edition, Wiley&Sons, Inc. 2002.
9. R. Ramaswami, K.N. Sivarajan, “Optical Networks, A Practical Perspective”, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., 1998

4. Перечень экзаменационных вопросов

1. Волоконно-оптические линии связи: недостатки, преимущества, области применения.
2. Блок-схема одноканальной волоконно-оптической системы связи.
3. Спектр электромагнитных волн.
4. Законы Снеллиуса.
5. Полное внутреннее отражение от границы раздела двух диэлектрических сред. Критический угол.
6. Использование оптического диапазона для волоконно-оптических линий связи.
7. Распространение электромагнитных волн в оптических волокнах.
8. Ввод света в оптическое волокно. Числовая апертура волокна.
9. Понятие оптической моды.
10. Распространяющиеся, поверхностные и вытекающие волны.
11. Конструкции оптических волокон. Типы оптических волокон: ступенчатое и градиентное, одномодовое и многомодовое волокна.
12. Число мод в многомодовом оптическом волокне.
13. Диаметр модового поля. Длина отсечки.
14. Рабочие длины волн волоконно-оптической связи.
15. Методы изготовления оптических волокон.

16. Механизмы потерь в оптических волокнах. Рассеяние, поглощение, макро- и микроизгибы.
17. “Окна прозрачности” оптических волокон.
18. Дисперсионные искажения оптических сигналов, распространяющихся по оптическому волокну.
19. Типы дисперсии в оптических волокнах.
20. Современные методы компенсации дисперсии в оптических волокнах: с помощью специальных компенсирующих дисперсию волокон и чирпованных волоконно-оптических Брэгговских решеток.
21. Нелинейные явления в оптических волокнах: стимулированные (вынужденные) Рамановское и Бриллюэновское рассеяния, четырехволновое смешение, фазовая само- и кроссмодуляции.
22. Материалы оптических волокон, методы изготовления оптических волокон. Особенности технологических установок.
23. Специальные оптические волокна.
24. Соединения оптических волокон: разъёмные и неразъёмные соединения. Соединения с помощью механических соединителей (коннекторов), сплайса и сварки.
25. Вносимые потери: внутренние и внешние.
26. Типы оптических кабелей. Конструктивные особенности оптических кабелей связи. Прокладка оптических кабелей.
27. Структура волоконно-оптической системы связи с частотным уплотнением каналов (WDM): принцип работы и элементная база.
28. Оптические разветвители. Волновые мультиплексоры и демультимплексоры.
29. Опто-волоконные микро-оптические ответвители, ответвители на связанных волокнах и асимметричные ответвители.
30. Оптические фильтры, используемые в волоконно-оптических системах связи с частотным уплотнением каналов. Принцип работы и характеристики, спектральная полоса. Фильтры пропускательного и отражательного типа.
31. Интерферометр Фабри-Перо как фильтр пропускательного типа.
32. Интерферометры Фабри-Перо с металлическими и многослойными диэлектрическими зеркалами. Спектральные характеристики.
33. Волоконно-оптическая решетка Брэгга как фильтр отражательного типа.
34. Однородные, аподизированные решетки Брэгга, решетки Брэгга со скачком фазы, чирпованные решетки Брэгга. Спектральные характеристики интерферометров Фабри-Перо.

35. Методы усиления оптических сигналов в волоконно-оптических системах связи.
36. Преимущества полностью оптических усилителей перед электро-оптическими регенераторами.
37. Типы оптических усилителей: волоконные и полупроводниковые оптические усилители.
38. Принцип работы эрбиевого волоконно-оптического усилителя (EDFA) на длине волны 980 и 1480 нм.
39. Другие типы волоконно-оптических усилителей. Принцип работы полупроводникового оптического усилителя (SOA).
40. Оптические передатчики. Методы модуляции, используемые в оптических передатчиках: внутренняя и внешняя модуляции. Характеристики модуляторов.
41. Физические основы временного разделения каналов связи.
42. Асинхронная система разделения каналов.
43. Синхронная система разделения каналов.
44. Физические основы кодового разделения каналов связи.
45. Основная единица кодовой последовательности.
46. Комбинированная частотно-импульсная система кодового разделения каналов.

Учебная программа:

одобрена Кафедрой телекоммуникации

Зав. кафедрой: А.К. Агаронян

(подпись)