

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧ и КР)

**ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ АКТИВНЫЕ И ПАССИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ  
ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Методические указания по проведению практических занятий и организации  
самостоятельной работы студентов

Направление подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и  
системы связи». Магистерская программа «Оптические системы связи и  
обработки информации»

Томск 2018

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧ и КР)

Утверждаю  
Зав. каф. СВЧ и КР

\_\_\_\_\_ С.Н. Шарангович

**ОПТОЭЛЕКТРОННЫЕ АКТИВНЫЕ И ПАССИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ  
ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Методические указания по проведению практических занятий и организации  
самостоятельной работы студентов

Направление подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и  
системы связи». Магистерская программа «Оптические системы связи и  
обработки информации»

Разработчик:  
проф. каф. СВЧ и КР

\_\_\_\_\_ А.Е. Мандель

**Оглавление**

1. Введение. ....	4
2. Цели и задачи дисциплины. ....	.6
3. Место дисциплины в структуре ООП.....	6
4. Требования к результатам освоения дисциплины.....	6
5. Содержание лекционных разделов дисциплины. ....	8
5.1. Пассивные и активные элементы ВОСП.....	8
5.2. Полупроводниковые лазеры и лазерные модули .....	8
5.3 Фотодиоды и фотоприемные оптические модули .....	9
5.4 Активные волокна, квантовые усилители и ретрансляторы.....	9
6. Лабораторные занятия. ....	9
7. Практические занятия. ....	/.....10
8. Список вопросов и тестовых заданий к дифференцированному зачету ...	11
7. Контрольные этапы и их максимальный рейтинг. ....	..17
8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины. ....	18

## Введение

Практические занятия являются связующим звеном между теорией и практикой, на них учащиеся углубляют и закрепляют теоретические знания, полученные на лекциях, проверяют научно-теоретические положения расчетами. Правильно организованные практические и лабораторные занятия способствуют формированию будущего специалиста, который сможет не только выполнять работу по заданию предприятия, но и вести самостоятельный творческий поиск, приобретает навыки анализировать и обобщать полученную информацию.

Эффективной формой организации обучения в высшей школе являются семинарские занятия, с которыми органично сочетаются лекции. Семинар - вид практических занятий, который предусматривает самостоятельную проработку студентами отдельных тем и проблем в соответствии содержания учебной дисциплины и обсуждение результатов этого изучения, представленных в виде тезисов, сообщений, докладов, рефератов и т.д..

Самостоятельная работа студентов является частью учебного процесса при подготовке квалифицированных специалистов, способных самостоятельно и творчески решать стоящие перед ними задачи. В ходе самостоятельной работы формируются важнейшие профессиональные навыки будущего специалиста, такие как: внутренняя готовность к самообразованию в профессиональной сфере, самостоятельность, инициативность и ответственность, умение работать с источниками информации.

Каждая дисциплина должна иметь методическое сопровождение по самостоятельному изучению разделов и тем, указанных в рабочей программе, по написанию рефератов, выполнению лабораторных работ. В связи с этим эффективная организация самостоятельной работы студентов требует проведения целого ряда мероприятий, создающих предпосылки и условия для реализации самостоятельной работы, а именно:

- обеспечение студентов информационными ресурсами (учебными пособиями, справочниками, банками индивидуальных заданий);
- обеспечение студентов методическими материалами (учебно-методическими практикумами, сборниками задач, указаниями по выполнению лабораторных работ);
- наличие материальных ресурсов (ПК, измерительного и технологического оборудования для выполнения заданий в рамках НИР и ГПО);
- организации консультаций преподавателей.

Важным элементом в организации самостоятельной работы студентов является контроль. Контроль требует разработки преподавателем контролирующих материалов в текстовом или тестовом исполнении, а при использовании ПК - пакета прикладных программ для проверки знаний студентов. Эффективная система контроля (в т.ч. электронная система контроля), наряду с рейтинговой системой оценки знаний, позволит добиться систематической самостоятельной работы студентов над учебными материалами и повысить качество обучения.

Пособие разработано для студентов направления подготовки 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», обучающихся по магистерской программе «Оптические системы связи и обработки информации».

## **1. Цели и задачи дисциплины**

**Целью** преподавания дисциплины «Оптоэлектронные активные и пассивные компоненты оптических систем» является формирование у студентов современных физических и технических представлений о методах расчета, разработки и проектирования оптоэлектронных активных и пассивных компонентов оптических систем.

**Основными задачами** изучения дисциплины являются:

- приобретение студентами знаний о характеристиках, методах разработки, проектирования и использования перспективных оптоэлектронных активных и пассивных компонентов оптических систем;
- приобретение навыков построения инфокоммуникационных систем и сетей различных типов.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП**

Дисциплина «Оптоэлектронные активные и пассивные компоненты оптических систем» (Б1.В.ДВ.3.2) относится к блоку 1 (вариативная часть).

Предшествующими дисциплинами, формирующими начальные знания, являются следующие дисциплины: Оптические системы связи и обработки информации, Формирование и обработка сигналов систем связи.

Последующими дисциплинами являются: Проектирование элементов и устройств радиосвязи, Защита выпускной квалификационной работы, включая подготовку к защите и процедуру защиты,

## **3. Требования к результатам освоения дисциплины**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- способностью реализовывать новые принципы построения инфокоммуникационных систем и сетей различных типов передачи, распределения, обработки и хранения информации (ОПК-4),
- готовностью использовать современные достижения науки и передовые инфокоммуникационные технологии, методы проведения теоретических и

экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области ИКТиСС (ПК-8).

В результате изучения дисциплины студенты должны:

**знать:** - основные принципы и физические эффекты, обеспечивающие функционирование активных и пассивных компонентов оптических систем;

- основные конструкции и характеристики активных и пассивных компонентов оптических систем;

**уметь:** - проводить поиск оптимальных решений в области проектирования инфокоммуникационных систем и сетей различных типов;

- осуществлять сбор, обработку и анализ научно-технической информации по вопросам выбора и применения элементной базы линий передачи;

- рассчитывать, исследовать и эксплуатировать современную элементную базу устройств инфокоммуникаций;

**владеть:** - методами и приемами разработки, проектирования и использования элементной базы для построения инфокоммуникационных систем и сетей различных типов.

#### 4. Объем дисциплины и виды учебной деятельности

Вид учебной деятельности	3 семестр	Всего	Единицы
Лабораторные работы	16	16	часов
Самостоятельная работа	124	124	часов
Лекции	18	18	часов
Практические занятия	22	22	часов
Всего (без экзамена)	180	180	часов
Общая трудоемкость	180	180	часов
	5	5	З.Е
Дифференцированный зачет		3 семестр	

## **5. Содержание лекционных разделов дисциплины**

### **5.1. Пассивные и активные элементы ВОСП**

Основные типы световодов. Конструкция волокна и оптического кабеля. Основные характеристики распространения оптического сигнала в волоконных световодах: затухание, дисперсия, полоса пропускания, поляризация и деполяризация. Нелинейные эффекты в световодах. Потери при стыковке световодов. Конструкции и характеристики оптических кабелей. Достижимые характеристики ВОСП при использовании различных типов оптического волокна. Активные и фотоннокристаллические волокна.

Оптические соединители, разъемы, разветвители, поляризаторы, вентиляльные устройства и коллиматоры. Устройства ввода излучения в волокно. Сварные и сплайсовые соединения оптических кабелей. Оборудование для сварки и соединения волокон. Инкапсуляция и герметические кабельные соединительные муфты. Кроссовые шкафы. Патчкорды и пигтейлы. Оборудование для оконцовки кабелей и кроссирования. Мультиплексоры и демультиплексоры для CWDM и DWDM систем передачи. Планарная технология изготовления мультиплексоров, демультиплексоров, их исполнение и контроль параметров. Модуляторы.

### **5.2. Полупроводниковые лазеры и лазерные модули**

Физические основы работы светодиодов и полупроводниковых лазеров. Принципы и условия работы оптического квантового генератора. Особенности работы полупроводникового лазера для ВОЛС. Типы лазерных полупроводниковых структур и инжекционные лазерные диоды. Ключевые параметры полупроводниковых лазерных излучателей. Классификация и методы исследования искажений, вносимых лазерным излучателем при передаче сигналов в цифровых ВОСП. Лазеры с прямой токовой модуляцией. Устройство и основные характеристики современных лазерных модулей. Частотные ограничения и предельные скорости передачи информации.



Внешние модуляторы на основе интерферометра Маха-Цандера. Скоростные передающие модули.

### **5.3. Фотодиоды и фотоприемные оптические модули**

Физические основы работы полупроводникового фотоприемника. Типы и структуры фотоприемников. Пин-фотодиоды и лавинные фотодиоды. Фототранзисторы. Ключевые параметры полупроводникового фотодетектора. Фотодиоды Шоттки. Классификация и методы исследования искажений, вносимых фотодетектором при передаче сигналов в цифровых ВОСП. Усилительные устройства фотоприемников. Устройство и основные характеристики современных фотодиодных модулей для ВОЛС.

### **5.4. Активные волокна, квантовые усилители и ретрансляторы**

Энергетические уровни атомов и метастабильные состояния электронов. Накачка и инверсионная населенность. Активная среда и квантовое усиление в полупроводниковой структуре и в твердом теле. Полупроводниковые квантовые усилители. Активные волокна, легированные Er. Волоконный усилитель – ретранслятор EDFA. Брэгговские решетки с переменным шагом и широкополосный усилитель для DWDM линий связи.

## **6. Лабораторные занятия**

Основными целями выполнения лабораторных работ являются:

- приобретение студентами практических навыков работы с оптоэлектронными компонентами оптических систем;
- углубленное освоение студентами теоретических положений изучаемой дисциплины.

При выполнении лабораторных работ студент должен продемонстрировать знание соответствующего теоретического материала и знакомство с учебно-методической литературой по заданной теме.

### **Список лабораторных работ:**

1. Исследование эффективности ввода и потерь на стыках оптических волокон

2. Измерение апертуры оптического волокна
3. Исследование параметров и характеристик полупроводникового лазера.
4. Устройство ввода-вывода в планарный оптический волновод

Методические указания к лабораторным работам представлены на научно-образовательном портале ТУСУРа в разделе методических материалов каф.СВЧиКР .

## **7. Практические занятия**

По дисциплине предусмотрено 11 двухчасовых практических занятий. На практических занятиях студентами докладываются результаты выполнения индивидуальных заданий (рефератов). Темы рефератов соответствуют темам практических занятий.

Реферат оформляется согласно требованиям ТУСУР и должен иметь титульный лист, содержание, основную часть, заключение, список использованных источников. В списке источники (книги, статьи, патенты) приводить с указанием полных выходных данных и с номером в квадратных скобках по тексту. Оформление: формат А4, Word 2003, Times NR 12 pt, выравнивание по ширине, переносы, межстрочный единичный интервал, формулы в Equation Editor. Объём не менее 15 страниц. Время на презентацию 20-25 мин.

### **Темы практических занятий по разделам курса:**

#### **Пассивные и активные элементы ВОСП**

1. Конструкция волокна и оптического кабеля.
2. Основные характеристики распространения оптического сигнала в волоконных световодах: затухание, дисперсия, полоса пропускания, поляризация и деполяризация..
3. Оборудование для сварки и соединения волокон.
4. Мультиплексоры и демультиплексоры для CWDM и DWDM систем передачи

#### **Полупроводниковые лазеры и лазерные модули**

1. Типы лазерных полупроводниковых структур и инжекционные лазерные диоды.
2. Устройство и основные характеристики современных лазерных модулей
3. Внешние модуляторы на основе интерферометра Маха-Цандера.

### **Фотодиоды и фотоприемные оптические модули**

1. Типы и структуры фотоприемников. Пин-фотодиоды и лавинные фотодиоды.
2. Устройство и основные характеристики современных фотодиодных модулей для ВОЛС.

### **Активные волокна, квантовые усилители и ретрансляторы**

1. Активные волокна, легированные Er.
2. Брэгговские решетки с переменным шагом и широкополосный усилитель для DWDM линий связи.

В качестве индивидуального творческого задания засчитывается выступление студентов с докладами на научных и научно-практических конференциях, семинарах, симпозиумах.

## **8. Список вопросов и тестовых заданий к дифференцированному зачету**

Подготовка к зачету способствует систематизации, обобщению и закреплению знаний студентов, устранению пробелов, возникающих в процессе учебных занятий. Зачет может проводиться либо в виде устного опроса по вопросам, сформулированным ниже, либо в виде выполнения тестовых заданий.

### **Список вопросов по темам дисциплины**

#### **Пассивные и активные элементы ВОСП**

1. Основные типы световодов.
2. Конструкция волокна и оптического кабеля.
3. Основные характеристики распространения оптического сигнала в волоконных световодах: затухание, дисперсия, полоса пропускания,

поляризация и деполяризация.

4. Нелинейные эффекты в световодах.

5. Потери при стыковке световодов.

6. Конструкции и характеристики оптических кабелей

7. Активные и фотоннокристаллические волокна.

8. Оптические соединители, разъемы, разветвители, поляризаторы, вентиляльные устройства и коллиматоры.

9. Устройства ввода излучения в волокно.

10. Сварные и сплайсовые соединения оптических кабелей.

Оборудование для сварки и соединения волокон.

11. Инкапсуляция и герметические кабельные соединительные муфты.

Кроссовые шкафы. Патчкорды и пигтейлы

12. Оборудование для оконцовки кабелей и кроссирования.

13. Мультиплексоры и демультиплексоры для CWDM и DWDM систем передачи.

14. Планарная технология изготовления мультиплексоров, демультиплексоров, их исполнение и контроль параметров..

### **Полупроводниковые лазеры и лазерные модули**

15. Физические основы работы светодиодов и полупроводниковых лазеров.

16. Принципы и условия работы оптического квантового генератора.

17. Особенности работы полупроводникового лазера для ВОЛС. Типы лазерных полупроводниковых структур и инжекционные лазерные диоды.

18. Ключевые параметры полупроводниковых лазерных излучателей.

19. Классификация и методы исследования искажений, вносимых лазерным излучателем при передаче сигналов в цифровых ВОСП.

20. Лазеры с прямой токовой модуляцией.

21. Устройство и основные характеристики современных лазерных модулей.

22. Частотные ограничения и предельные скорости передачи информации.

23. Внешние модуляторы на основе интерферометра Маха-Цандера.

24. Скоростные передающие модули.

### **Фотодиоды и фотоприемные оптические модули**

25. Физические основы работы полупроводникового фотоприемника.

26. Типы и структуры фотоприемников. Пин-фотодиоды и лавинные фотодиоды. Фототранзисторы.

27. Ключевые параметры полупроводникового фотодетектора.

28. Фотодиоды Шоттки.

29. Классификация и методы исследования искажений, вносимых фотодетектором при передаче сигналов в цифровых ВОСП.

30. Усилительные устройства фотоприемников.

31. Устройство и основные характеристики современных фотодиодных модулей для ВОЛС.

### **Активные волокна, квантовые усилители и ретрансляторы**

32. Энергетические уровни атомов и метастабильные состояния электронов.

33. Накачка и инверсионная населенность.

34. Активная среда и квантовое усиление в полупроводниковой структуре и в твердом теле.

35. Полупроводниковые квантовые усилители.

36. Активные волокна, легированные Er. Волоконный усилитель – ретранслятор EDFA.

37. Брэгговские решетки с переменным шагом и широкополосный усилитель для DWDM линий связи.

### **Тестовые вопросы**

1. Определяющим видом дисперсии для многомодового световода со ступенчатым профилем показателя преломления является

а). Волноводная

б). Материальная

в). Межмодовая

г). Хроматическая

2. Определяющим видом дисперсии для одномодового световода со ступенчатым профилем показателя преломления является

а). Волноводная

б). Материальная

в). Межмодовая

г). Хроматическая

3. Рассеяние, возникающее в оптическом волокне на инородных включениях, размеры которых соизмеримы с рабочей длиной волны, называют

а). Вынужденным комбинационным рассеянием

б). Вынужденным рассеянием Мандельштама-Бриллюэна

в). Рассеянием Ми

г). Рэлеевским

4. Окнам прозрачности в кварцевом оптическом волокне, соответствуют следующие длины волн (в мкм)

а) 0,85; 1,3; 1,55

б) 0,87; 1,25; 1,55

в) 0,9; 1; 1,45

г) 0,93; 1,47; 1,5

5. Потери, обусловленные скруткой оптических волокон по длине кабеля, относятся к потерям

а) На макроизгибах

б) На микроизгибах

в) Термического характера

г) Апертурным

6. Металлические стержни и провода, в некоторых конструкциях оптического кабеля, используются

а) В качестве силового несущего элемента

- б) Для простоты монтажа
- в) Для простоты прокладки
- г) Для уменьшения потерь

7. Световые волны распространяются вдоль оптического волокна за счет

- а) Дисперсии
- б) Дифракции
- в) Интерференции
- г) Отражения

8. В волоконно-оптических линиях связи для передачи информации используется

- а) Инфракрасная область спектра
- б) Область видимого света
- в) Радиоволны
- г) Ультрафиолетовая область спектра

9. При вводе лучей в оптическое волокно в пределах апертурного угла возбуждаются

- а) Вытекающие волны
- б) Излучаемые волны
- в) Направляемые волны
- г) Пространственные волны

10. Ватт-амперная характеристика светодиода – это зависимость:

- а) Излучаемой мощности от тока накачки
- б) Амплитуды от тока накачки
- в) Сопротивления от тока накачки
- г) Температуры от тока накачки

11. Спектральная характеристика СИД – это зависимость:

- а) Тока накачки от длины волны
- б) Излучаемой мощности от длины волны излучения
- в) Длины волны от мощности излучения
- г) Длины волны от тока накачки

12. Какой способ накачки применяется в СИД

- а) Газовая
- б) химическая
- в) плазменная
- г) электрическим током

13. В качестве источников света в ВОСП используются

- а) p-i-n фотодиод
- б) Лавинный фотодиод
- в) Полупроводниковый лазер Фабри-Перо
- г) Фототранзистор

14. Ватт-амперная характеристика полупроводникового лазера – это

- а) зависимость длины волны излучения от приложенной мощности
- б) зависимость тока накачки от приложенной мощности
- в) зависимость излучаемой мощности от тока накачки
- г) зависимость порогового тока от приложенного напряжения

15. В качестве приемника света волоконно-оптических линиях связи используются

- а) Полупроводниковый лазер
- б) Лавинный фотодиод
- в) Лазер с двойной гетероструктурой
- г) Суперлюминисцентный диод

16. Какой из редкоземельных металлов используется в конструкции волоконно-оптического усилителя для третьего окна прозрачности

- а) Празеодим
- б) Неодим
- в) Тулий
- г) Эрбий

17. Конструкция полупроводникового лазера отличается от светодиода наличием

- а) охлаждающих элементов



- б) Дополнительного потенциального барьера
- в) Пассивных областей
- г) Резонаторов

18. При отсутствии излучения через фотодиод течет

- а) Диффузионный ток
- б) Прямой ток
- в) Темновой ток
- г) обратный ток

19. Излучение полупроводникового лазера является

- а) Когерентным
- б) Некогерентным
- в) Спонтанным

20. Излучение полупроводникового светодиода является

- а) Когерентным
- б) Некогерентным
- в) Спонтанным

## **7. Контрольные этапы и их максимальный рейтинг**

Методика текущего контроля освоения дисциплины осуществляется в соответствии с Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов и основана на бально-рейтинговой системе оценки успеваемости, действующей с 2009 г., которая включает текущий контроль выполнения элементов объема дисциплины по элементам контроля с подведением текущего рейтинга и итоговый контроль.

**Итоговый контроль освоения** дисциплины осуществляется на дифференцированном зачете по традиционной пятибалльной шкале. Обязательным условием перед сдачей зачета является выполнение студентом необходимых по рабочей программе для дисциплины видов занятий: выполнение и защита результатов лабораторных работ, выполнение рефератов и выступление с докладами на их основе на практических занятиях.

Формирование итоговой суммы баллов осуществляется путем суммирования семестровой (до 70 баллов) и зачетной составляющих (до 30 баллов).

### Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

3 семестр

Элемент учебной деятельности	Максимальный балл за 1 КТ	Максимальный балл между 1 и 2 КТ	Максимальный балл за 2 КТ	Всего
Тест	8	8	8	24
Дифференцированный зачет	0	0	30	30
Отчет по лабораторной работе	0	8	8	16
Выступление (доклад) на занятии	10	10	10	30
Итого:	18	26	56	100

## 8. Учебно-методическое обеспечение дисциплины

### Основная литература

1. Андреев В.А., Портнов Э.Л., Кочановский Л.Н. Направляющие системы электросвязи. Учебник для вузов. В 2-х томах. Том. 1. Теория передачи и влияния. Учебное пособие. 7-е изд., перераб. и доп. - М. Горячая линия – Телеком. 2011 г.- 424с.:ил. (20 экз.) : Библиотека ТУСУР, : Библиотека ТУСУР
2. Электрические и волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие / Ефанов В. И. - 2012. 150 с.: Научно-образовательный портал ТУСУР, <https://edu.tusur.ru/publications/802>

2.

### Дополнительная литература

1. Пихтин А. Н. Квантовая и оптическая электроника : учебник для вузов / А. Н. Пихтин. - М. : Абрис, 2012. - 656 с. (41 экз.) : Библиотека ТУСУР
2. Мандель А.Е. Методы и средства измерения в волоконно-оптических линиях связи. Учебное пособие. Томск, ТУСУР, 2006 г.-120 с. (22 экз.).
3. Современные проблемы волоконно-оптических линий связи: Справочник. Т. 4: Активные элементы и средства контроля ВОЛС. Под ред. В. Ф. Мышкина, В. А. Хана, А. В. Шмалько. Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2005г. -371 с. (2 экз.)

### Обязательные учебно-методические пособия

1. Мандель, А. Е. Измерение апертуры оптических волокон: Методические указания к лабораторной работе [Электронный ресурс] / А. Е. Мандель, А. С. Перин. — Томск: ТУСУР, 2018. — 10 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/8049>
2. Мандель, А. Е. Исследование параметров и характеристик полупроводникового лазера: Методические указания к лабораторной работе [Электронный ресурс] / А. Е. Мандель, А. С. Акрестина, Н. И. Буримов. — Томск: ТУСУР, 2018. — 15 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/8051>
3. Мандель, А. Е. Устройство ввода-вывода излучения в планарный оптический волновод: Методические указания к лабораторной работе [Электронный ресурс] / А. Е. Мандель, А. С. Перин. — Томск: ТУСУР, 2018. — 20 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/8052>
4. Мандель, А. Е. Исследование эффективности ввода излучения и потерь на стыках оптического волокна: Методические указания к лабораторной работе [Электронный ресурс] / А. Е. Мандель, А. С. Перин. — Томск: ТУСУР, 2018. — 14 с. — Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/8050>