

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Радиофизический факультет

УТВЕРЖДЕНО:
Декан
А. Г. Коротаев

Рабочая программа дисциплины

Волоконно-оптические системы связи

по направлению подготовки

12.04.03 Фотоника и оптоинформатика

Направленность (профиль) подготовки:
Приборы и устройства нанопотоники

Форма обучения
Очная

Квалификация
Магистр

Год приема
2025

СОГЛАСОВАНО:
Руководитель ОП
А.П. Коханенко

Председатель УМК
А.П.Коханенко

Томск – 2025

1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

ОПК-2 Способен организовывать проведение научного исследования и разработку новых оптических систем и технологий, представлять и аргументированно защищать полученные результаты интеллектуальной деятельности, связанные с методами и средствами оптических и фотонных исследований.

ПК-1 Способен к анализу состояния научно-технической проблемы, технического задания и постановке цели и задач проводимых научных исследований на основе подбора и изучения литературных и патентных источников.

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИОПК 2.1 Организует проведение научного исследования и разработку в области профессиональной деятельности

ИОПК 2.2 Представляет и аргументированно защищает полученные результаты интеллектуальной деятельности

ИПК 1.1 Составляет план поиска научно-технической информации по разработке оптических систем связи

ИПК 1.2 Проводит поиск и анализ научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по разработке оптических систем связи

ИПК 1.3 Представляет информацию в систематизированном виде, оформляет научно-технические отчёты

1. Цели и задачи дисциплины

Целями освоения дисциплины «**Волоконно-оптические линии связи**» являются:

- приобретение студентами глубоких знаний о параметрах основных элементов волоконно-оптических линий связи – оптических волокон, источников оптического излучения, приемников оптического излучения, пассивных элементов;
- формирование системы взглядов на принципы проведения измерения параметров элементов ВОЛС и развитие навыков расчета основных параметров всей системы связи.

2. Место дисциплины в структуре магистерской подготовки

Данная дисциплина относится к вариативной части Блока 1 «Дисциплины (модули) профессионального цикла магистерской программы **Приборы и устройства нанофотоники**.

Для освоения дисциплины студент должен обладать:

- способностью использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования;
- способностью владеть методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов в области микро и наноэлектроники;
- способностью оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследования;
- способностью разрабатывать элементы и устройства фотоники и оптоинформатики на основе существующей элементной базы микро и наноэлектроники.

От студента требуется знания из общей физики, физики твердого тела, квантовой механики, нелинейной оптики и оптического материаловедения, приобретенные в процессе бакалаврской подготовки.

Освоение данной дисциплины необходимо для проведения научно-исследовательской работы в области нанофотоники.

3. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:

- способность к абстрактному мышлению, обобщению, анализу, систематизации и прогнозированию (ОК-1);
- способность действовать в нестандартных ситуациях, нести ответственность за принятые решения (ОК-2);
- способность к саморазвитию, самореализации, использованию творческого потенциала (ОК-3).
- способность формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки (ОПК-1);
- способность применять современные методы исследования, оценивать и представлять результаты выполненной работы (ОПК-2);
- готовность обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований (ПК-1);
- способность владеть методикой разработки математических и физических моделей исследуемых процессов, явлений и объектов, относящихся к профессиональной сфере (ПК-2);
- способность оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследования (ПК-3);
- способность владеть навыками компьютерного моделирования информационных сигналов и систем, синтеза кодов, количественного анализа характеристик информационных систем (ПК-4);
- способность пользоваться математическим аппаратом в области теории информации, кодирования, теории информационных систем и сигналов (ПК-6);
- способность разрабатывать фотонное устройство на основе элементной базы, выбирать необходимое оборудование и способ контроля параметров устройства (ПК-8);
- способность участвовать в монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов (ПК-17);
- способность к анализу и применению стратегий технического обслуживания и ремонта приборов и систем фотоники и оптоинформатики, выбор оптимальных вариантов управления их эксплуатацией (ПК-30);
- готовность к быстрой перестройке производственного процесса в соответствии с потребностями рынка (ПК-32);
- готовность обосновать актуальность целей и задач проводимых научных исследований в области разработки и оптимизации технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурированных материалов, а также контроля их параметров (ПСК-1);
- способность оценивать научную значимость и перспективы прикладного использования результатов исследования в области разработки и оптимизации технологических процессов производства приборов квантовой электроники и фотоники на основе наноструктурированных материалов, а также контроля их параметров (ПСК-3);
- способность участвовать в монтаже, наладке, испытаниях и сдаче в эксплуатацию опытных образцов, использующих элементную базу на основе наноструктурированных материалов (ПСК-7);
- способность к анализу и применению стратегий технического обслуживания и ремонта приборов и систем фотоники и оптоинформатики, использующих элементную базу на основе наноструктурированных материалов, выбор оптимальных вариантов управления их эксплуатацией (ПСК-9).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

знать: физические закономерности распространения света по оптическому волокну, основные элементы ВОЛС, параметры и типы современных оптических волокон, свойства оптоэлектронных элементов ВОЛС, цифровые иерархии систем передачи информации.

уметь: пользоваться полученными знаниями для постановки и интерпретации результатов экспериментов в области фотоники и оптоинформатики, строить простейшие математические модели распространения оптического излучения по волокну, оценивать значимость влияния различных физических параметров на характеристики ВОЛС, проводить сварку оптических волокон;

владеть: методами и средствами измерения характеристик оптических волокон, методами построения современных оптических линий связи.

4. Структура и содержание дисциплины «Волоконно-оптические линии связи»

1 Виды оптических цифровых систем передачи

Введение. Предмет и содержание курса. Эволюция волоконно-оптических систем передачи информации. Состав и виды оптических цифровых систем связи. Цифровые иерархии систем передачи информации.

2 Волоконно-оптические компоненты современных систем передачи

Физические основы распространения света по оптическому волокну. Числовая апертура оптического волокна. Затухание. Дисперсия. Межмодовая, хроматическая, материальная, волноводная, поляризационная модовая дисперсии. Классификация оптических волокон. Изготовление световодов. Конструкции волоконно-оптических кабелей. Состав, виды применения. Соединение оптических волокон. Оптические разветвители. Оптические изоляторы. Атенюаторы, оптические переключатели. Муфты. Устройства волнового уплотнения. WDM-фильтры, мультиплексоры, волновые конвертеры. Оптические распределительные и коммутационные устройства.

3 Оптоэлектронные компоненты ВОЛС

Источники оптического излучения. Инжекционная люминесценция. Полезные свойства гетеропереходов. Эффективность инъекции. Светодиод Барраса на двойной гетероструктуре. Лазерные диоды. Передающие оптоэлектронные модули. Приемники оптического излучения. Принципы работы фотоприемника. Основные параметры и характеристики. P-I-N фотодиод. Лавинные фотодиоды. Повторители и волоконно-оптические усилители.

4 Измерения оптических волноводов

Задачи измерений в ВОЛС. Геометрические параметры. Оптические параметры. Подготовка световодов. Методы и средства измерений полного затухания: двухточечный, замещения, обратного рэлеевского рассеяния во временной области, раздельного измерения и т.д. Измерение спектральных характеристик. Измерения дисперсии в оптических волокнах. Методы измерения межмодовой, хроматической, поляризационной модовой дисперсии. Классификация современного оборудования. Рефлектометрические измерения параметров ВОЛС. Стандартный метод. Частотный метод. Основные характеристики рефлектометра. Эксплуатационные измерения. Системное оборудование.

5 Измерения параметров цифровых каналов ВОЛС

Основные параметры, измеряемые в бинарном цифровом канале. Измерения коэффициента ошибок. Методы вычисления параметров ошибок в цифровых каналах. Измерение дрейфа и дрожания фазы. Понятие джиттера и его влияние на параметры качества цифрового канала.

Глаз-диаграмма. Диаграмма состояний. Моделирование и контроль ВОЛС. Перспективы развития измерительной техники и измерительных технологий ВОЛС.

7 Оптические цифровые системы связи

Формула Шеннона. Общая схема оптической системы связи. Передача информации по ВОЛС. Линейные коды оптических систем передачи. Классификация кодов и их характеристики. Приемники цифровых волоконно-оптических систем связи. Регенерация цифровых сигналов. Причины появления ошибок. Квантовый предел детектирования. Цифровые иерархии систем передачи информации. Пассивные оптические линии связи

(PON): топология, основные элементы, стандарты PON. Надежность различных топологий ВОЛС. Открытые оптические системы связи. Коэффициент готовности ВОЛС. Действующие ВОЛС.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	Лаб. работы	семинар ы	Самост. работа	
1	Виды оптических цифровых систем передачи	1	1-2	2	-	4	12	Устный опрос
2	Волоконно- оптические компоненты современных систем передачи	1	3-7	6	-	10	12	Устный опрос
3	Оптоэлектронные компоненты ВОЛС	1	8-12	4	-	10	20	Устный опрос
	Всего (1-й семестр)			12		24	44	Зачет
4	Измерения оптических волноводов	2	1-2	2	-	6	28	Устный опрос
5	Измерения параметров цифровых каналов ВОЛС	2	3-5	4	-	4	28	Устный опрос
6	Оптические цифровые системы связи	2	20	4	-	4	20	Устный опрос
	Итоговый контроль по дисциплине				-		36	экзамен
	Всего (2-й семестр)			10	-	14	112	
ИТОГО				22	-	38	156	

5. Образовательные технологии

При реализации дисциплины используются проблемные лекции, лекции-дискуссии, занятия с применением затрудняющих условий. При проведении семинаров предусматривается участие ведущих специалистов НОЦ «Функциональные материалы радио- и оптоэлектроники».

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Видами самостоятельной работы обучающегося по данной дисциплине являются:

- подготовка ответов на контрольные вопросы;
- подготовка докладов на семинарах;
- подготовка и изготовление лабораторных работ;
- подготовка к зачету, к экзамену.

Темы семинаров

1. Классификация волоконно-оптических линий связи.
2. Затухание. Собственные потери. Потери на рассеяние. Кабельные потери.
3. Дисперсия в оптических волокнах.
4. Пассивные оптические компоненты ВОЛС.
5. Оптические распределительные и коммутационные устройства
6. Источники оптического излучения. Инжекционная люминесценция.
7. Полезные свойства гетеропереходов.
8. Лазерные диоды. Передающие оптоэлектронные модули.
9. Приемники оптического излучения. Принципы работы фотоприемника.
10. Основные параметры и характеристики. P-I-N фотодиод.
11. Лавинные фотодиоды.
11. Оптические усилители на примесном волокне.
13. Закономерности развития измерительных технологий ВОЛС.
14. Методы и средства измерений полного затухания: двухточечный, замещения.
15. Метод обратного рэлеевского рассеяния во временной области.
16. Измерение спектральных характеристик. Измерения дисперсии в оптических волокнах.
17. Классификация современного оборудования.
18. Основные параметры, измеряемые в бинарном цифровом канале ВОЛС.
19. Глаз-диаграмма. Регенерация цифровых сигналов. Причины появления ошибок.
20. Линейные коды оптических систем передачи.
21. Пассивные оптические линии связи (PON): топология, основные элементы PON.
22. Эволюция оптических сетей связи.

Темы лабораторных работ

1. Измерение полных потерь в оптическом световоде.
2. Измерение потерь в зависимости от изгиба оптического волокна.
3. Измерение числовой апертуры волоконного световода.
4. Измерение эффективности ввода оптического излучения в волокно.
5. Построение зависимости потерь оптического излучения от продольного и поперечного сдвига волокна относительно источника излучения.
6. Изучение работы сварочного аппарата КСС-111.
7. Проведение лабораторных работ по соединению оптических волокон (сварка, использование разъемов).
8. Измерения оптических волокон с помощью оптического тестера.
9. Изучение работы оптического рефлектометра.
10. Проведение измерений потерь в оптическом волокне с помощью рефлектометра (определитель места обрыва).
11. Измерение различных видов дисперсии оптических волокон.
12. Исследование «Глаз-диаграммы»
13. Расчет параметров локальной линии связи на основе ВОЛС

Контрольные вопросы для самостоятельной работы

1. Структурная схема ВОЛС. Основные элементы.
2. Физические основы распространения света по оптическому волокну.
3. Основные типы оптических волокон.
4. Классификация волоконно-оптических компонентов.

5. Затухание. Собственные потери. Потери на рассеяние. Кабельные потери.
6. Методы изготовления ОВ.
7. Типы современных ОВ (SM, DS, NZDS). Формы ППП.
8. Основные требования к ВОК.
9. Пассивные оптические компоненты ВОЛС.
10. Методы соединения ОВ.
11. Оптические разветвители.
12. Оптические усилители на примесном волокне.
13. Закономерности развития измерительных технологий ВОЛС.
14. Геометрические, оптические параметры ОВ.
15. Подготовка световодов к измерениям.
16. Методы измерения затухания ОВ.
17. Методы измерения межмодовой, хроматической дисперсии.
18. Основные параметры, измеряемые в бинарном цифровом канале ВОЛС.
19. Понятие джиттера и его влияние на параметры качества цифрового канала.
20. Глаз-диаграмма. Регенерация цифровых сигналов. Причины появления ошибок.
21. Рефлектометрические измерения параметров ВОЛС.
22. Классификация современного метрологического оборудования ВОЛС.
23. Измерение количества информации. Формула Шеннона.
24. Общая схема оптической системы связи. Мультиплексор.
25. Линейные коды оптических систем передачи.
26. Частотное (FDM), временное (TDM) мультиплексирование.
27. Сети с коммутацией каналов и пакетов.
28. Дейтаграммная сеть. Сети ISDN, ATM, Frame Relay.
29. Уровни модели OSI и их основные функции.
30. Пассивные оптические линии связи (PON): топология, основные элементы.
31. Эволюция оптических сетей связи. Надежность различных топологий ВОЛС.
32. Открытые оптические системы связи. Коэффициент готовности АОЛС.
33. Действующие ВОЛС. Анализ технико-экономических показателей линий связи.

Вопросы к зачету по дисциплине

1. Структурная схема ВОЛС. Основные элементы.
2. Физические основы распространения света по оптическому волокну.
3. Основные типы оптических волокон.
4. Классификация волоконно-оптических компонентов.
5. Затухание. Собственные потери. Потери на рассеяние. Кабельные потери.
6. Методы изготовления ОВ.
7. Типы современных ОВ (SM, DS, NZDS). Формы ППП.
8. Основные требования к ВОК.
9. Пассивные оптические компоненты ВОЛС.
10. Методы соединения ОВ.
11. Оптические разветвители.
12. Оптические усилители на примесном волокне.
13. Источники оптического излучения.
14. Инжекционная люминесценция.
15. Полезные свойства гетеропереходов.
16. Эффективность инъекции.
17. Светодиод Барраса на двойной гетероструктуре.
18. Лазерные диоды.
19. Передающие оптоэлектронные модули.
20. Приемники оптического излучения.

21. Принципы работы фотоприемника.
22. Основные параметры и характеристики. P-I-N фотодиод.
23. Лавинные фотодиоды.
24. Повторители и волоконно-оптические усилители.

Вопросы к экзамену по дисциплине

- 1 Физические основы распространения света по оптическому волокну. Числовая апертура оптического волокна. Основные типы оптических волокон.
- 2 Влияние шумов усилителя и тепловых шумов на вероятность ошибок, глаз-диаграмма. Оптимизация оптической системы связи.
- 3 Синхронное временное, статистическое (асинхронное) временное, инверсное мультиплексирование.
- 4 Классификация волоконно-оптических компонентов.
- 5 Цифровые иерархии систем передачи информации. Методы мультиплексирования цифровых потоков: частотное (FDM), временное (TDM) мультиплексирование.
- 6 Затухание. Собственные потери. Потери на рассеяние. Кабельные потери. Окна прозрачности.
- 7 Приемники цифровых волоконно-оптических систем связи. Регенерация цифровых сигналов. Причины появления ошибок. Квантовый предел детектирования.
- 8 Дисперсия оптического волокна. Межмодовая, хроматическая, поляризационная модовая дисперсия ОВ. ОВ со смещенной или сглаженной дисперсией.
- 9 Классификация современного оборудования: эксплуатационное и системное оборудование.
- 10 Методы изготовления ОВ. Типы современных ОВ (SM, DS, NZDS).
- 11 Сети с коммутацией каналов и пакетов. Дейтаграммная сеть, сеть с виртуальными каналами. Сети ISDN, ATM, Frame Relay. Уровни модели OSI и их основные функции.
- 12 Конструкции волоконно-оптических кабелей (ВОК). Основные требования к ВОК. Классификация ВОК.
- 13 Передача информации по ВОЛС. Линейные коды оптических систем передачи. Классификация кодов и их характеристики.
- 14 Пассивные оптические компоненты ВОЛС.
- 15 Эволюция волоконно-оптических систем передачи информации. Общая схема оптической системы связи. Мультиплексор.
- 16 Методы соединения ОВ. Разъемные соединения. Сварное соединение ОВ. Преимущества, недостатки.
- 17 Закономерности развития измерительных технологий ВОЛС. Классификация измерений в ВОЛС.
- 18 Оптические разветвители. Изоляторы, фильтры, аттенюаторы, муфты, системы спектрального уплотнения.
- 19 Измерение количества информации и информационная пропускная способность. Формула Шеннона.
- 20 Оптические распределительные и коммутационные устройства. Оптические кроссовые устройства.
- 21 Рефлектометрические измерения параметров ВОЛС. Основные характеристики рефлектометра.
- 22 Классификация оптоэлектронных компонент ВОЛС.
- 23 Измерения затухания в оптических волокнах. Методы и средства измерений полного затухания: двухточечный, замещения, раздельного измерения.
- 24 Инжекционная люминесценция в полупроводниках. Спектральная плотность мощности излучения светодиода.

25 Пассивные оптические линии связи (PON): топология, основные элементы, стандарты PON, надежность, оптические потери, точки роста, сбалансированная сеть PON.

26 Внутренняя квантовая эффективность. Внешняя квантовая эффективность. Конструкции светодиодов. Светодиод Барраса.

27 Подготовка световодов к измерениям. Вспомогательные приемы и средства. Иммерсионная жидкость.

28 Полезные свойства гетеропереходов. Эффективность инжекции в гетеропереходах. Светодиод Барраса на двойной гетероструктуре. Лазерные диоды для ВОЛС.

29 Требования к приемникам оптического излучения в ВОЛС. Принципы работы фотоприемника. Основные параметры и характеристики.

30 Понятие джиттера и его влияние на параметры качества цифрового канала. Измерения джиттера. Глаз-диаграмма.

31 Открытые оптические системы связи. Характеристики передачи. Параметры атмосферного канала. Коэффициент готовности АОЛС (атмосферной оптической линии связи).

32 Повторители, ретрансляторы. Волоконно-оптические усилители.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины «Волоконно-оптические линии связи»

а) основная литература:

1. Волоконно-оптические линии связи. Физические основы работы оптических волокон: учебно-методическое пособие / [сост. А. П. Коханенко, Ю. В. Маслова]; Томский гос. ун-т, Радиофизический фак. Томск: [б. и.], 2013, 63 с.: ил.

Электронный ресурс <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000467520>

2. Волоконно-оптические сети и системы связи / О. К. Складов Санкт-Петербург [и др.] : 260, [5] с.: рис., табл. Лань , 2010 Учебники для вузов Специальная литература

3. Волоконно-оптические линии связи. Применение рефлектометров : учебно-методическое пособие : [для физических, радиофизических и радиотехнических специальностей] / Том. гос. ун-т, Радио-физ. фак. ; [сост.: А. П. Коханенко, Ю. В. Маслова, Е. А. Бектемиров] Томск : [б. и.] , 2011, 63 с.: ил.

4. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые перспективы : [сборник статей] / под ред. С. А. Дмитриева и Н. Н. Слепова, М. : Техносфера , 2010, 607 с.: ил

5. Волоконно-оптические линии связи. Применение рефлектометров : учебно-методическое пособие : [для физических, радиофизических и радиотехнических специальностей] / Том. гос. ун-т, Радио-физ. фак. ; [сост.: А. П. Коханенко, Ю. В. Маслова, Е. А. Бектемиров] Томск : [б. и.] , 2011, 63 с.: ил.

6. Волоконно-оптические линии связи. Измерение дисперсии оптических волокон : учебно-методическое пособие : [для физических, радиофизических и радиотехнических специальностей] / Том. гос. ун-т, Радио-физ. фак. ; [сост.: А. П. Коханенко, И. В. Романов, Ю. В. Маслова], Томск : [б. и.] , 2011, 54 с.: ил.

б) дополнительная литература:

1. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. – М.:Техносфера, 2004, 495 с.

2. Коханенко А.П. Волоконно-оптические линии связи [Электронный ресурс]: Методическое пособие/ Томский госуниверситет, Инс-т дистанционного образования. Томск, ИДО ТГУ, 2006 г.

3. Гауэр Дж. Оптические системы связи.-М.: Радио и связь, 1989, 504с.

4. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. - М.:Эко-тренд, 2001, 268 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

1. Электронная библиотека ТГУ: <http://www.lib.tsu.ru/ru>.

2. Электронно-библиотечная система издательства Лань» <http://e.lanbook.com/>

3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru/>

4. Электронный образовательный ресурс «Проектирование и администрирование информационных сетей» <http://ido.tsu.ru/about/structure/fpk/tsu/>

5. Электронный образовательный ресурс «Программно-технические средства телекоммуникаций» <http://ido.tsu.ru/about/structure/fpk/tsu/>

Все электронные образовательные ресурсы включают электронные учебные пособия и наборы контрольных тестов. Ресурсы размещены на сервере и доступны из компьютерных классов радиофизического факультета.

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины «Волоконно-оптические линии связи»

При освоении дисциплины используются видеофильмы и презентации по отдельным разделам дисциплины, компьютерные классы РФФ ТГУ с доступом к ресурсам Научной библиотеки ТГУ, в том числе отечественным и зарубежным периодическим изданиям, и сети Интернет.