

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского»**

Радиофизический факультет

---

УТВЕРЖДЕНО

решением президиума Ученого совета ННГУ

протокол № 1 от 16.01.2024 г.

**Рабочая программа дисциплины**

Волоконная оптика

---

Уровень высшего образования

Бакалавриат

---

Направление подготовки / специальность

03.03.03 - Радиофизика

---

Направленность образовательной программы

Радиофизика и электроника

---

Форма обучения

очная

---

г. Нижний Новгород

2024 год начала подготовки

## 1. Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина Б1.В.ДВ.02.02 Волоконная оптика относится к части, формируемой участниками образовательных отношений образовательной программы.

## 2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства	
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	Для текущего контроля успеваемости	Для промежуточной аттестации
ПК-1: Способен осваивать принципы работы и методы эксплуатации современной и перспективной радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры	ПК-1.1: Применяет теоретические основы создания и принципы функционирования радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры ПК-1.2: Осваивает новые технологии радиоэлектронной, оптической и акустической аппаратуры, используя специальную, научную и учебную литературу	ПК-1.1: Знать базовые модели и физические принципы в области волоконной оптики Уметь овладевать базовыми знаниями в области волоконной оптики с применением информационно-коммуникационных технологий  ПК-1.2: Владеть навыками использования базовых знаний в области волоконной оптики при решении радиофизических задач	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы
ПК-2: Способен осваивать и применять современные и перспективные методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области радиофизики	ПК-2.1: Анализирует современное состояние исследований в области физики и радиофизики, современные подходы к описанию и моделированию различных физических явлений и оценке полученных результатов ПК-2.2: Выбирает и применяет аналитические, аналитико-численные, экспериментальные методы исследования в соответствии с типом поставленной задачи ПК-2.3: Анализирует полученные данные,	ПК-2.1: Знать методики радиофизических измерений и интерпретации данных в области волоконной оптики  ПК-2.2: Уметь использовать методы сбора, обработки и интерпретации данных современных научных исследований в области волоконно-оптических систем  ПК-2.3: Владеть способностью сбора и интерпретации данных в	Собеседование	Зачёт: Контрольные вопросы

	формулирует выводы и рекомендации.в ходе планирования, подготовки, проведения НИР в области радиофизики	области волоконной оптики, необходимых для проведения научных исследований		
--	---	--	--	--

### 3. Структура и содержание дисциплины

#### 3.1 Трудоемкость дисциплины

	<b>очная</b>
<b>Общая трудоемкость, з.е.</b>	<b>2</b>
<b>Часов по учебному плану</b>	<b>72</b>
в том числе	
<b>аудиторные занятия (контактная работа):</b>	
- занятия лекционного типа	<b>0</b>
- занятия семинарского типа (практические занятия / лабораторные работы)	<b>32</b>
- КСР	<b>1</b>
<b>самостоятельная работа</b>	<b>39</b>
<b>Промежуточная аттестация</b>	<b>0</b> <b>Зачёт</b>

#### 3.2. Содержание дисциплины

(структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий)

Наименование разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	в том числе			
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них			Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа (практические занятия/ лабора торные работы), часы	Всего	
	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0	0 Ф 0
Введение. История волоконно-оптических систем	4		2	2	2
Физические основы распространения электромагнитных волн в волоконных световодах	14		6	6	8
Одномодовые и многомодовые световодные системы	12		6	6	6
Дисперсионные свойства волоконных световодов	8		4	4	4
Оптические потери в световодах	6		2	2	4
Структура и элементная база канала волоконно-оптической связи	15		6	6	9
Системы передачи информации на базе устройств волоконной оптики	12		6	6	6
Аттестация	0				

КСР	1			1	
Итого	72	0	32	33	39

### **Содержание разделов и тем дисциплины**

#### **ВВЕДЕНИЕ.**

Волоконная оптика в условиях современного НТП. История проблемы. Основные преимущества волоконно-оптических систем.

#### **I. ОСНОВЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛН В СВЕТОВОДАХ**

Постановка задачи. Ввод оптического излучения в волокно. Понятие числовой апертуры.

Распространение оптических волн в волоконном световоде (ВС) в приближении геометрической оптики.

Основные типы световодов, их геометрические и технологические особенности. Волновая модель распространения электромагнитных волн в ВС. Волновое уравнение для цилиндрического волновода.

Модовая структура полей в ВС. Дисперсионное уравнение и дисперсионные характеристики ВС.

Условие отсечки мод. Одномодовый световод. Материальная дисперсия в волокне. Оценки величин.

Волноводная дисперсия в ВС. Сравнение влияния разных дисперсионных механизмов на расплывание волнового пакета в ВС. Физические причины затухания в волокнах. Рэлеевское рассеяние в волокне.

Количественные оценки уровня оптических потерь в ВС.

#### **II. ОСНОВЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ.**

Общая структура волоконно-оптического канала связи. Элементная база волоконно-оптического канала передачи информации. Источники оптического излучения в волоконной технике. Физические механизмы излучательной рекомбинации в полупроводниках. Инфракрасные светодиоды, их конструкция и рабочие характеристики. Согласование светодиодов с апертурой ВС. Модуляционная характеристика светодиода. Полупроводниковый инжекционный лазер, его особенности. Структуры полупроводниковых лазеров, применяемых в оптоэлектронных системах. Характеристики инжекционных лазеров. Модуляционные свойства. Перспективы и границы применения полупроводниковых инжекционных лазеров в волоконной оптике. Согласование источника излучения и волоконно-оптического канала. Постановка задачи. Общие принципы совместимости планарных волноводов и ВС. Методы согласования волноводной апертуры инжекционного лазера и ВС. Понятие фокона. Согласование одномодовых волноводных структур. Влияние нерегулярностей на эффективность согласования волноводных структур. Элементы связи как причина избыточных шумов в волоконно-оптических линиях связи. Фотоприемники в волоконной технике. Типы, общие особенности. Быстродействие и чувствительность ИК-фотодиодов. Физические основы когерентной волоконно-оптической связи. Преимущества и перспективы когерентной связи. Спектральное уплотнение каналов оптической связи.

Практические занятия /лабораторные работы организуются, в том числе, в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

На проведение практических занятий / лабораторных работ в форме практической подготовки отводится: очная форма обучения - 4 ч.

#### **4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся**

Самостоятельная работа обучающихся включает в себя подготовку к контрольным вопросам и заданиям для текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведенным в п. 5.

Маругин А.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ:  
Практикум – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2011. – 34с.

Рекомендовано методической комиссией радиофизического факультета для студентов ННГУ, обучающихся по направлениям подготовки 02.03.02 «Фундаментальная информатика и информационные технологии», 03.03.03 «Радиофизика» и специальности 10.05.02 «Информационная безопасность телекоммуникационных систем»

Самостоятельная работа обучающихся включает следующие виды:

- проработка изложенного преподавателем материала,
- изучение дополнительных разделов дисциплины с использованием учебной литературы,
- подготовка к аттестации

Текущий контроль усвоения моделей и понятий проводится путем проведения тестовых опросов непосредственно в ходе семинаров

## **5. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)**

### **5.1 Типовые задания, необходимые для оценки результатов обучения при проведении текущего контроля успеваемости с указанием критериев их оценивания:**

#### **5.1.1 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-1:**

Примеры тестовых контрольных вопросов:

1. Что такое нормированная частота, и какие свойства волоконных световодов она определяет?
2. В каком диапазоне – 0,6 мкм, 1,3 мкм или 10 мкм легче обеспечить прием сигнала в оптических каналах связи (чувствительность, шумы, эффективность)?
3. Какой элемент предпочтительней при согласовании многомодового световода и полупроводникового лазера: короткофокусная линза, длиннофокусная линза ?
4. Проанализируйте преимущества и недостатки возможных источников оптического излучения при использовании их в волоконно-оптических линиях связи.
5. Является ли одномодовым волокно, имеющее размеры 10/100 мкм, а ступенчатый профиль кварцевого волновода с перепадом показателя преломления 0,5 %?
6. Найти расстояние, на котором оптическая мощность светового пучка в ВОЛС уменьшится в 10 раз, если волокно характеризуется коэффициентом потерь  $\alpha = 0,2$  дБ/км.
7. Проанализируйте причины избыточных оптических шумов в волоконно-оптических каналах связи.
8. Каким элементом (источником излучения или волоконным световодом) обусловлено дисперсионное размывание сигнала в протяженных линиях связи? Каковы возможные пути уменьшения этого эффекта ?
9. В чем преимущество волоконных световодов с градиентным профилем показателя преломления над ступенчатыми?
10. Преимущества и недостатки оптического гетеродинамирования по сравнению с гомодинным приемом сигналов.
11. Какая причина является основным препятствием при разработке ВОЛС с пропускной способностью  $\sim 500$  Мбит /с?

12. Какова широкополосность волоконно-оптического канала связи с полупроводниковым лазером в качестве источника света, использующего фазовый метод передачи информации?

### 5.1.2 Типовые задания (оценочное средство - Собеседование) для оценки сформированности компетенции ПК-2:

Примеры тестовых контрольных вопросов:

1. Что такое нормированная частота, и какие свойства волоконных световодов она определяет?
2. В каком диапазоне – 0,6 мкм, 1,3 мкм или 10 мкм легче обеспечить прием сигнала в оптических каналах связи (чувствительность, шумы, эффективность)?
3. Какой элемент предпочтительней при согласовании многомодового световода и полупроводникового лазера: короткофокусная линза, длиннофокусная линза ?
4. Проанализируйте преимущества и недостатки возможных источников оптического излучения при использовании их в волоконно-оптических линиях связи.
5. Является ли одномодовым волокно, имеющее размеры 10/100 мкм, а ступенчатый профиль кварцевого волновода с перепадом показателя преломления 0,5 %?
6. Найти расстояние, на котором оптическая мощность светового пучка в ВОЛС уменьшится в 10 раз, если волокно характеризуется коэффициентом потерь  $\alpha = 0,2$  дБ/км.
7. Проанализируйте причины избыточных оптических шумов в волоконно-оптических каналах связи.
8. Каким элементом (источником излучения или волоконным световодом) обусловлено дисперсионное размывание сигнала в протяженных линиях связи? Каковы возможные пути уменьшения этого эффекта ?
9. В чем преимущество волоконных световодов с градиентным профилем показателя преломления над ступенчатыми?
10. Преимущества и недостатки оптического гетеродинамирования по сравнению с гомодинным приемом сигналов.
11. Какая причина является основным препятствием при разработке ВОЛС с пропускной способностью  $\sim 500$  Мбит /с?
12. Какова широкополосность волоконно-оптического канала связи с полупроводниковым лазером в качестве источника света, использующего фазовый метод передачи информации?

### Критерии оценивания (оценочное средство - Собеседование)

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

### 5.2. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине при промежуточной аттестации

## Шкала оценивания сформированности компетенций

Уровень сформированности компетенций (индикатор достижения компетенций)	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько несущественных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Ошибок нет.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений. Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые ошибки	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания, но не в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания в полном объеме, но некоторые с недочетами	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с отдельными несущественными недочетами, выполнены все задания в полном объеме	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи. Выполнены все задания, в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие базовых навыков. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продemonстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов	Продemonстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

## Шкала оценивания при промежуточной аттестации

Оценка		Уровень подготовки
зачтено	превосходно	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «превосходно», продемонстрированы знания, умения, владения по соответствующим компетенциям на уровне выше

		предусмотренного программой
	<b>отлично</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «отлично».
	<b>очень хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «очень хорошо»
	<b>хорошо</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «хорошо».
	<b>удовлетворительно</b>	Все компетенции (части компетенций), на формирование которых направлена дисциплина, сформированы на уровне не ниже «удовлетворительно», при этом хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «удовлетворительно»
<b>не зачтено</b>	<b>неудовлетворительно</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «неудовлетворительно».
	<b>плохо</b>	Хотя бы одна компетенция сформирована на уровне «плохо»

### 5.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения на промежуточной аттестации с указанием критериев их оценивания:

#### 5.3.1 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-1

1. Ввод оптического излучения в волокно.
2. Понятие числовой апертуры волоконного световода.
3. Распространение оптических волн в волоконном световоде в приближении геометрической оптики.
4. Фазовая лучевая модель формирования модовой структуры в ступенчатом ВС.
5. Нормированная частота ВС.
6. Основные типы световодов, их геометрические и технологические особенности.
7. Волновая модель распространения электромагнитных волн в ВС.
8. Волновое уравнение для цилиндрического волновода.
9. Модовая структура полей в многомодовом ВС.
10. Градиентные световоды.
11. Дисперсионное уравнение и дисперсионные характеристики ВС.
12. Условие отсечки мод.
13. Одномодовый световод
14. Материальная дисперсия в волокне. Оценки величин.
15. Волноводная дисперсия в ВС.



16. Сравнение влияния разных дисперсионных механизмов на распывание волнового пакета в ВС.
17. Физические причины затухания в волокнах.
18. Оптическое поглощение в регулярных и нерегулярных ВС.
19. Рэлеевское рассеяние в волокне.
20. Количественные оценки уровня оптических потерь в ВС.
21. Датчики распределения.
22. Особенности передачи информации по волоконному каналу.
23. Выбор оптимальной протяженности канала.
24. Нормализация распределения излучения по модам.
25. Понятие модуляционных характеристик световода.

### **5.3.2 Типовые задания (оценочное средство - Контрольные вопросы) для оценки сформированности компетенции ПК-2**

1. Что такое нормированная частота, и какие свойства волоконных световодов она определяет?
2. В каком диапазоне – 0,6 мкм, 1,3 мкм или 10 мкм легче обеспечить прием сигнала в оптических каналах связи (чувствительность, шумы, эффективность)?
3. Какой элемент предпочтительней при согласовании многомодового световода и полупроводникового лазера: короткофокусная линза, длиннофокусная линза ?
4. Проанализируйте преимущества и недостатки возможных источников оптического излучения при использовании их в волоконно-оптических линиях связи.
5. Является ли одномодовым волокно, имеющее размеры 10/100 мкм, а ступенчатый профиль кварцевого волновода с перепадом показателя преломления 0,5 %?
6. Найти расстояние, на котором оптическая мощность светового пучка в ВОЛС уменьшится в 10 раз, если волокно характеризуется коэффициентом потерь  $\alpha = 0,2$  дБ/км.
7. Проанализируйте причины избыточных оптических шумов в волоконно-оптических каналах связи.
8. Каким элементом (источником излучения или волоконным световодом) обусловлено дисперсионное размывание сигнала в протяженных линиях связи? Каковы возможные пути уменьшения этого эффекта ?
9. В чем преимущество волоконных световодов с градиентным профилем показателя преломления над ступенчатыми?
10. Преимущества и недостатки оптического гетеродинамирования по сравнению с гомодинным приемом сигналов.
11. Какая причина является основным препятствием при разработке ВОЛС с пропускной способностью  $\sim 500$  Мбит /с?
12. Какова широкополосность волоконно-оптического канала связи с полупроводниковым лазером в качестве источника света, использующего фазовый метод передачи информации?

### **Критерии оценивания (оценочное средство - Контрольные вопросы)**

Оценка	Критерии оценивания
зачтено	Минимально допустимый уровень знаний и выше. Допущенные ошибки не являлись грубыми. Продемонстрированы основные умения. Решены типовые задачи, возможны негрубые ошибки. Выполнены все задания. Имеется минимальный и выше набор навыков для решения стандартных задач, допускаются некоторые недочеты
не зачтено	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки. При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения и базовые навыки

## 6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

Основная литература:

1. Гауэр Дж. Оптические системы связи / пер. с англ. под ред. А. И. Ларкина. - М. : Радио и связь, 1989. - 500, [1] с. : ил. - ISBN 5-256-00113-2 (в пер.) : 2.50., 3 экз.
2. Сорокин Юрий Михайлович. Оптические потери в световодах : монография / ННГУ, Ин-т химии высокочистых веществ РАН. - Н. Новгород : Изд-во ННГУ, 2000. - 324 с. - 50.00., 25 экз.
3. Унгер Ганс Георг. Оптическая связь / пер. с нем. под ред. Н. А. Семенова. - М. : Связь, 1979. - 264 с. : ил. - 1.60., 18 экз.

Дополнительная литература:

1. Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов / пер. с англ. С. Г. Кривошлыкова, В. А. Черных ; под ред. И. Н. Сисакяна. - М. : Мир, 1984. - 512 с. : ил. - 3.50., 22 экз.
2. Гроднев Игорь Измаилович. Волоконно-оптические линии связи : [учеб. пособие для электротехн. ин-тов связи специальности 2305, 2306]. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Радио и связь, 1990. - 223, [1] с. : ил. - ISBN 5-256-00395-X : 0.55., 2 экз.
3. Специальный практикум по радиофизике и электронике. Ч. 4. Оптика, 1 / Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского [и др.] ; [отв. ред. С. Н. Гурбатов]. - Н. Новгород : РАН ИПФ, 2001. - 180 с. - ISBN 5-8048-0016-7 : 35.00., 3 экз.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы (в соответствии с содержанием дисциплины):

<https://vdocuments.mx/documents/-57ade25f1a28abbe3a9785a6.html?page=1>

Никоноров Н.В., Сидоров А.И. Материалы и технологии волоконной оптики\_ оптическое волокно для систем передачи информации.pdf

## 7. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)

Учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных образовательной программой, оснащены мультимедийным оборудованием (проектор, экран), техническими средствами обучения.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки/специальности 03.03.03 - Радиофизика.

Автор(ы): Маругин Алексей Валентинович, кандидат физико-математических наук, доцент.

Рецензент(ы): Осипов Григорий Владимирович, доктор физико-математических наук.

Заведующий кафедрой: Оболенский Сергей Владимирович, доктор технических наук.

Программа одобрена на заседании методической комиссии от 18 декабря 2023 г., протокол № 09/23.