

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)
ПЕРЕДОВАЯ ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА (ПИШ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
оптики и спектроскопии



(Овчинников О.В.)
05.06.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Б1.В.02 Волоконно-оптические системы связи

1. Код и наименование направления подготовки: 12.04.03 Фотоника и оптоинформатика
2. Профиль подготовки: Материалы и устройства фотоники и оптоинформатики
3. Квалификация выпускника: магистр
4. Форма обучения: очная
5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины: кафедра оптики и спектроскопии
6. Составители программы: Королев Никита Викторович, кандидат физико-математических наук, доцент; Чевычелова Тамара Андреевна
7. Рекомендована: НМС физического ф-та ВГУ протокол № 6 от 04.06.2025 г.
8. Учебный год: 2025/2026 Семестр: 2

9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Целью освоения учебной дисциплины является формирование профессиональных компетенций в области физических основ и технологий волоконно-оптических систем связи.

Задачи учебной дисциплины:

– сформировать знания о оптических принципах современных направлениях и тенденциях развития волоконной и интегральной оптики; об основах волноводной фотоники и применяемых технологий;

– изучить принципы конструирования основных волноводных элементов и устройств (канальных волноводов, брэгговских решеток, систем ввода-вывода, селекторов, мультиплексоров, усилителей, лазеров, модуляторов);

– научиться проводить теоретический анализ и расчет основных характеристик волноводных пассивных и активных элементов и устройств;

– овладеть навыками измерения и тестирования основных характеристик волоконных и планарных волноводных структур, элементов и устройств.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП: учебная дисциплина Б1.В.02 «Волоконно-оптические системы связи» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока Б1.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ПК-3	Способен выбирать научно-исследовательское и технологическое оборудование с учетом особенностей нанотехнологических процессов создания материалов и устройств фотоники и оптоинформатики	ПК-3.1	Проводит научные исследования в области фотоники, используя специализированное исследовательское оборудование, приборы и установки	Знать: методики проведения исследований в области фотоники Уметь: использовать специализированное исследовательское оборудование, применяемое в области фотоники Владеть: навыками исследования материалов и устройств фотоники
		ПК-3.2	Применяет знания физических принципов работы приборов квантовой электроники и фотоники, базовых технологических процессов создания материалов и устройств фотоники и оптоинформатики	Знать: принципы работы приборов квантовой электроники и фотоники Уметь: применять знания физических принципов работы в подборе технологического оборудования Владеть: представлениями о базовых технологических процессах создания материалов и устройств фотоники и оптоинформатики
ПК-5	Способен к разработке функциональных и структурных схем фотоники и оптоинформатики на уровне узлов, элементов, систем и технологий	ПК-5.1	Определяет перечень проблем в области получения, хранения и обработки информации с использованием систем оптоинформатики	Знать: принципы получения, хранения и обработки информации в системах оптоинформатики методики экспериментального исследования перспективных материалов и моделирования процессов в устройствах фотоники
		ПК-5.2	Осуществляет поиск имеющихся технологий получения, хранения и обработки информации с	Уметь: адаптировать элементы оптических и оптико-электронных приборов и систем к решению инженерных задач получения, хранения и обработки информации

			использованием оптических и оптико-электронных приборов и систем	
		ПК-5.3	Разрабатывает и исследует новые способы и принципы функционирования оптических и оптико-электронных приборов и систем получения, хранения и обработки информации	Владеть: представлениями о базовых принципах функционирования оптических и оптико-электронных приборов и систем хранения/получения информации

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах – 4 з.е. / 144 ч.

Форма промежуточной аттестации: экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам
			2
Аудиторные занятия		64	64
в том числе:	лекции	32	32
	практические	32	32
	лабораторные		
Самостоятельная работа		44	44
в том числе: курсовая работа (проект)			
Форма промежуточной аттестации (экзамен)		36	36
Итого:		144	144

13.1 Содержание дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Введение в волноводную фотонику и элементы теории информации	Волноводная фотоника – определение, предмет, цели, задачи и области приложения. Основные элементы волноводной фотоники и систем связи. Определение информации, теорема отсчетов, спектр сигнала.
1.2	Физика распространения электромагнитных волн в оптическом волокне и планарных оптических волноводах	Распространение оптических волн в веществе. Особенности оптического диапазона передачи информации. Физика полного внутреннего отражения. Дисперсионные явления в оптических световодах. Многомодовость оптического волокна. Многослойные плоские волноводы и дисперсионные уравнения. Полосковые волноводы. Взаимодействие волноводных мод.
1.3	Брэгговский планарный волновод	Планарный волновод с многослойным брэгговским зеркалом. Условия возникновения и аналитическое описание волноводных мод. Поверхностные затухающие брэгговские волны в многослойных диэлектрических средах. Брэгговские зеркала. Нормировка и моделирование волноводных мод.
1.4	Механизмы потерь в оптических волноводах	Поглощение в материале волокна. Рассеяние света в другие моды. Потери на изгибе.
1.5	Измерение параметров элементов волноводной фотоники	Измерение параметров оптического волокна: числовая апертура; модовый состав оптического волокна, диаметр светового пятна.
1.6	Устройства согласования в	Оптическое согласование. Ввод и вывод излучения в

	волоконно-оптических системах связи	тонкопленочный волновод. Устройства согласования интегрально-оптических волноводов и волоконных световодов. Геодезическая планарная линза. Связь между волноводами. Изучение условий ввода излучения в цилиндрический и планарный волноводы.
1.7	Управление излучением в оптических волноводах	Управление параметрами сред. Модуляция и переключение света. Объемные акустооптические и электрооптические модуляторы. Интегрально-оптические модуляторы Ответвители, разветвители, переключатели каналов. Оптические вентили. Мультиплексоры и демультиплексоры.
1.8	Компоненты волоконно-оптических систем связи	Преобразователи мод. Источники и детекторы оптического излучения. Волоконно-оптические лазеры и датчики. Волоконно-оптические информационно-измерительные системы. Волоконные гироскопы. Интегрально-оптический фотодетектор.
2. Практические занятия		
2.1	Планарный волновод	Структура волновода. Основные параметры: относительная разность показателей преломления, числовая апертура, профиль показателя преломления, постоянная распространения. Основные параметры геометрии распространяющихся лучей, время прохождения луча волновода, уширение импульса.
2.2.	Оптическое волокно	Основные конструктивные элементы оптического волокна. Типы и характеристики оптического волокна. Основные параметры ОВ. Расчет показателя преломления сердцевин и оболочки ОВ. Числовая апертура. Нормированная частота. Затухание. Полоса пропускания и дисперсия в ОВ.
2.3	Основные характеристики многомодового оптического волокна (МОВ)	Число распространяющихся мод в МОВ. Межмодовая дисперсия.
2.4	Основные характеристики одномодового оптического волокна (ООВ)	Длина волны отсечки. Максимальный диаметр сердцевин, при котором соблюдается одномодовый режим. Диаметр поля моды ООВ. Эффективная площадь модового поля (мкм) ООВ. Хроматическая дисперсия. Волноводная дисперсия. Поляризация модовая дисперсия.
2.5	Соединение оптических волокон	Потери в месте соединения ООВ. Разъемные соединители
2.6	Расчет длины регенерационного участка	Расчет длины регенерационного участка: по затуханию, по дисперсии .
2.7	Компенсации дисперсии	Выбор типа модуля компенсации дисперсии. Оценка максимальной степени компенсации наклона дисперсионной кривой передающего ОВ

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практ.	Лаб.	Сам. работа	Всего
1.1	Введение в волноводную фотонику и элементы теории информации	2			2	4
1.2	Физика распространения электромагнитных волн в оптическом волокне и планарных оптических волноводах	6			4	10
1.3	Брэгговский планарный волновод	4			2	6
1.4	Механизмы потерь в оптических волноводах	4			2	6
1.5	Измерение параметров элементов волноводной фотоники	4			2	6
1.6	Устройства согласования в волоконно-оптических системах связи	4			2	6
1.7	Управление излучением в оптических волноводах	4			2	6

1.8	Компоненты волоконно-оптических систем связи	4			2	6
2.1	Планарный волновод		4		2	6
2.2	Оптическое волокно		4		2	6
2.3	Основные характеристики многомодового оптического волокна (МОВ)		6		4	10
2.4	Основные характеристики одномодового оптического волокна (ООВ)		4		4	8
2.5	Соединение оптических волокон		4		4	8
2.6	Расчет длины регенерационного участка		4		4	8
2.7	Компенсации дисперсии		6		4	10
	Итого	32	32		44	108

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины:

Основными этапами освоения дисциплины являются:

- 1) Лекции. В ходе лекционных занятий студенту необходимо вести конспектирование учебного материала. Обращать внимание на категории, формулировки, раскрывающие содержание тех или иных явлений и процессов, научные выводы и практические рекомендации, положительный опыт в ораторском искусстве. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендованной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций
- 2) Практические занятия. При подготовке к практическим занятиям студентам рекомендуется: изучить конспект лекции по теме и рекомендованную литературу, ознакомиться с основными методами решения задач. Для закрепления изученного материала самостоятельно решить задачи, заданные в качестве домашнего задания.
- 3) Самостоятельная работа студента. Изучение учебной, научной и методической литературы, материалов периодических изданий с привлечением электронных средств научной информации.
- 4) Подготовка к аттестации. В ходе подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации студенту рекомендуется активно использовать электронный образовательный портал Moodle – электронная среда дисциплины, с предоставлением презентаций лекций, заданий для выполнения практических работ, дополнительного теоретического материала и нормативно-правовых документов по темам и перечней вопросов для подготовки к текущим аттестациям и промежуточной аттестации. Также студенту рекомендуется использовать весь набор методов и средств современных информационных технологий для изучения отечественной и зарубежной литературы по дисциплине, оценки и анализа ее текущего состояния и перспектив развития. Ему предоставляется возможность работать в компьютерных классах факультета (313а аудитория), иметь доступ к Интернет-ресурсам и электронной почте, использовать имеющиеся на кафедре оптики и спектроскопии физического факультета информационные технологии, использовать ресурсы Зональной научной библиотеки ВГУ, в том числе электронно-библиотечные системы.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Гончаренко, А. М. Основы теории оптических волноводов / А. М. Гончаренко, В. А. Карпенко, И. А. Гончаренко. – Минск : Белорусская наука, 2009. – 296 с. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=89939
2	Соколов, С. А. Волоконно-оптические линии связи и их защита от внешних влияний : учебное пособие по курсу «ВОЛС и ПК» : [16+] / С. А. Соколов. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. – 173 с. : ил., табл., схем. – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=564840
3	Скляров, О. К. Волоконно-оптические сети и системы связи : учебное пособие : [16+] / О. К. Скляров. – Москва : СОЛОН-ПРЕСС, 2009. – 266 с. – (Библиотека инженера). – Режим доступа: по подписке. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=117684
4	Салех, Бахаа Е.А. Оптика и фотоника. Принципы и применения = Fundamentals of photonics : учебное пособие : в 2 т. / Б. Салех, М. Тейх ; пер. с англ. В.Л. Деврова Долгопрудный : Изд. Дом "Интеллект", 2012- ISBN 978-5-91559-038-9

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
1	Цуканов, В. Н. Волоконно-оптическая техника. Практическое руководство / В. Н. Цуканов, М. Я. Яковлев. – М. : Инфра-Инженерия, 2014. – 304 с. – ISBN 978-5-9729-0078-7 ; То же [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=234772
2	Костылев, В. И. Волоконно-оптические системы передачи информации : учебное пособие для вузов по курсу "Электродинамика СВЧ" / В.И. Костылев ; Воронеж. гос. ун-т. — Воронеж : ЛОП ВГУ, 2006. — 41 с. : ил. — Библиогр.: с.40. — <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/may07100.pdf >.
3	Митрохин, В. Е. Измерения в волоконно-оптических системах передачи. [Электронный ресурс] — Электрон.дан. — М. : УМЦ ЖДТ, 2007. — 197 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/59902
4	Шангина, Л. И. Квантовая и оптическая электроника : учебное пособие / Л. И. Шангина. – Томск : Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 303 с. ; То же [Электронный ресурс]. – URL: https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=208584
5	Семенов, А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС. [Электронный ресурс] — Электрон.дан. — М. : ДМК Пресс, 2009. — 632 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/1144
6.	Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман ; Пер. с англ. под ред. Н.Н. Слепова М. : Техносфера, 2003 447 с. : ил (Мир связи) ISBN 5-94836-010-5

в) информационные электронно-образовательные ресурсы:

№ п/п	Источник
1	ЭБС «Университетская библиотека Online» – https://biblioclub.ru/
2	ЭБС Лань – https://e.lanbook.com/
3	Электронный каталог ЗНБ ВГУ (https://www.lib.vsu.ru/)

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Зеленовский, П. С. Основы интегральной и волоконной оптики: учебное пособие : / П. С. Зеленовский. – Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2019. – 132 с.
2	Ефанов В.И. Сборник задач по волоконно-оптическим линиям связи-Томск: ТУСУР, 2012.– 50с.

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ, электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

В учебном процессе используются традиционные и образовательные технологии. По образовательным формам: лекции и практические занятия. Преобладающими методами и приемам обучения являются: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ – демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Организационная структура лекционного занятия: 1. Формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса. 2. Разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы. 3. Рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах. 4. Заключение, формулировка выводов. 5. Формулировка задания для самостоятельной домашней работы. Озвучивание темы следующего занятия.

Организационная структура практического занятия - решение задач или семинар: 1. Проверка готовности студентов к занятию - их теоретическая готовность к выполнению заданий. 2. Основная часть занятия, где студенты выполняют задания, а контроль их исполнения (полнота и качество) и помощь осуществляет преподаватель. 3. Заключительная часть - подведение преподавателем итогов занятия, получение студентами заданий на самостоятельную работу.

При реализации дисциплины с использованием дистанционных образовательных технологий используются инструменты электронной информационно-образовательной среды ВГУ «Электронный университет ВГУ» (<https://edu.vsu.ru>) и/или «MOOK ВГУ» (<https://mooc.vsu.ru>), сервисы видеоконференций (BigBlueButton), электронная почта.

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Специализированная мебель, проектор, ноутбук, экран. WinPro 8, OfficeStandard 2019, «Антиплагиат.ВУЗ», MathWorks TotalAcademicHeadcount

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.1	Введение в волноводную фотонику и элементы теории информации	ПК-3 ПК-5	ПК-3.1 ПК-3.2 ПК-5.1 ПК-5.2 ПК-5.3	Тесты, вопросы
1.2	Физика распространения электромагнитных волн в оптическом волокне и планарных оптических волноводах			
1.3	Брэгговский планарный волновод			
1.4	Механизмы потерь в оптических волноводах			
1.5	Измерение параметров элементов волноводной фотоники			
1.6	Устройства согласования в волоконно-оптических системах связи			
1.7	Управление излучением в оптических волноводах			
1.8	Компоненты волоконно-оптических систем связи			

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
2.1	Планарный волновод			Задачи
2.2	Оптическое волокно			
2.3	Основные характеристики многомодового оптического волокна (МОВ)			
2.4	Основные характеристики одномодового оптического волокна (ООВ)			
2.5	Соединение оптических волокон			
2.6	Расчет длины регенерационного участка			
2.7	Компенсации дисперсии			
Промежуточная аттестация форма контроля – экзамен				КИМ

20. Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: вопросы, тесты, задачи. Типовые задания теста, вопросы и задачи для проведения аттестации представлены в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины

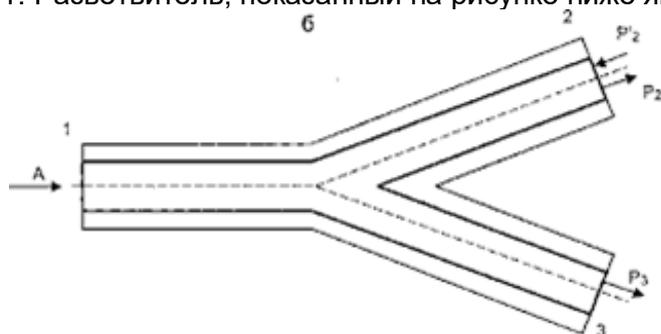
20.1. Текущая аттестация

Текущая аттестация №1. Письменное задание. Время выполнения 45 мин.

Пример контрольно-измерительный материала для текущей аттестации:

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Разветвитель, показанный на рисунке ниже является



- а) разветвителем мощности 2х1
- б) разветвителем мощности 1х3
- в) разветвителем мощности 1х2
- г) разветвителем мощности 2х2
- д) разветвителем мощности 3х1

2. Устройство, которое уменьшает интенсивность светового сигнала, прошедшего через него, называется

- а) аттенуатором
- б) поглотителем
- в) сплиттером
- г) отражателем

3. При создании оптических изоляторов используется

а) эффект Зеебека б) фотоэффект в) эффект Пельтье г) эффект Фарадея

4. Многомодовые оптические волокна со ступенчатым показателем преломления обладают

- а) малым диаметром сердцевины и малым значением числовой апертуры,
- б) малым диаметром сердцевины и высоким значением числовой апертуры,
- в) большим диаметром сердцевины и малым значением числовой апертуры,
- г) большим диаметром сердцевины и высоким значением числовой апертуры.

5. Светоизлучающий диод

- а) может быть сформирован только на основе р-п-перехода,
- б) может быть сформирован как на основе р-п-перехода, так и гетероперехода,
- в) может быть сформирован только на основе гетероперехода,
- г) не реализуем без слоя полупроводника с собственной проводимостью.

6. Теоретический вопрос: Особенности оптического диапазона передачи информации.

7. Задача: Вычислить значение числовой апертуры для оптического волокна, если коэффициенты преломления сердцевины и оболочки составляют 1.4922 и 1.4987 соответственно. Полученное значение округлить до 10^{-4} .

Текущая аттестация №2. Письменное задание. Время выполнения 45 мин. .

Пример контрольно-измерительный материала для текущей аттестации:

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Числовой характеристикой пространственного конуса, внутри которого можно осуществить ввод излучения в оптическое волокно, является:

- а) числовая апертура,
- б) диаметр сердцевины волокна,
- в) относительная частота,
- г) толщина оболочки.

2. Меридиональный луч – это:

- а) луч, который образует паразитные моды оболочки оптического волокна,
- б) луч, который распространяется в плоскости, не содержащей ось симметрии волокна,
- в) луч, который распространяется в плоскости, проходящей через ось симметрии волокна,
- г) луч, который не испытывает эффекта полного внутреннего отражения.

3. Единицей измерения коэффициента затухания является

- а) непер,
- б) децибел/километр,
- в) децибел,
- г) бел/секунду.

4. Микроструктурное волокно – это:

- а) волокно из чистого кварцевого стекла, содержащее многочисленные поперечные слои с различным коэффициентом преломления,
- б) волокно из чистого кварцевого стекла, содержащее многочисленные цилиндрические воздушные отверстия, параллельные оси по всей длине,
- в) волокно из чистого кварцевого стекла, легированное редкоземельными элементами,
- г) волокно из чистого кварцевого стекла, содержащее многочисленные свили.

5. Спекл-шум возникает в результате:

- а) нагрева оптического волокна,
- б) изгиба оптического волокна,
- в) случайной интерференции мод,
- г) помещения оптического волокна в магнитное поле.

6. Вопрос: Модуляция и переключение света

7. Задача: Оценить потери в многомодовом оптическом волокне при соединении волокон с различными значениями числовой апертуры: $NA_1 = 0.14568$ и $NA_2 = 0.1054$. Результат округлить до 10^{-2} , размерность ответа децибелы.

Критерии и шкалы оценивания:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) тестовые задания:

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ, в том числе частично.

1) ответ на теоретические вопрос:

• 5 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• 3 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

• 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:

- 5 баллов – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);
- 3 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;
- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

В зависимости от набранного балла за КИМ, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

- от 13 до 15 баллов – «отлично»;
- от 10 до 12 баллов – «хорошо»;
- от 5 до 9 баллов – «удовлетворительно»;
- от 0 до 4 баллов – «неудовлетворительно».

20.2. Промежуточная аттестация

Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине – экзамен.

Оценка за экзамен может быть выставлена по результатам текущей успеваемости обучающегося в течение семестра на заключительном занятии. Оценки вносятся в аттестационную ведомость. При несогласии студента с оценкой последний вправе сдавать экзамен на общих основаниях.

Экзамен проводится в письменной форме. Каждый КИМ включает два теоретических вопроса (и задачу (вопросы к экзамену и задачи см. в Приложении 1 к рабочей программе дисциплины). Обучающийся готовит ответы на вопросы КИМа на бланках ответа и устно отвечает преподавателю. Оценивается правильность и полнота ответа на каждый вопрос, при решении задачи оценивается: знание физических основ (явлений, законов, формул), необходимых для ее решения; наличие математических преобразований; правильный ответ. Время подготовки ответа не более 45 мин, время ответа не более 15 мин.

Пример КИМ:

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой оптики и спектроскопии
_____ Овчинников О.В.
подпись, расшифровка подписи
_____.____.20__

Направление подготовки 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика
Дисциплина _____ Волоконно-оптические системы связи
Форма обучения _____ очная
Вид контроля _____ экзамен
Вид аттестации _____ промежуточная

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Устройства согласования интегрально-оптических волноводов и волоконных световодов.
2. Дисперсионные явления в оптических световодах.
3. Оценить потери в многомодовом оптическом волокне при соединении волокон с различными значениями числовой апертуры: $NA_1 = 0.14568$ и $NA_2 = 0.1054$. Результат округлить до 10^{-2} , размерность ответа децибелы.

Преподаватель _____ Королев Н. В.

Критерии и шкалы оценивания КИМ:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) ответ на теоретические вопрос:

- 2 балла – обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

- 1 балл – обучающийся частично владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований;

- 0 баллов – обучающийся не владеет понятийным аппаратом и теоретическими основами по поставленному вопросу, не способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований

2) расчетные задачи, ситуационные, практико-ориентированные задачи:

- 2 баллов – задача решена верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход решения);

- 1 балла – решение задачи содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода ее решения, или задача решена не полностью, но получены промежуточные результаты, отражающие правильность хода решения задачи, или, в случае если задание состоит из решения нескольких подзадач, 50% которых решены верно;

- 0 баллов – задача не решена или решение неверно (ход решения ошибочен или содержит грубые ошибки, значительно влияющие на дальнейшее изучение задачи).

В зависимости от набранного балла за КИМ, выставляется оценка по четырехбалльной шкале:

от 5 до 6 баллов – «отлично»;

от 3 до 4 баллов – «хорошо»;

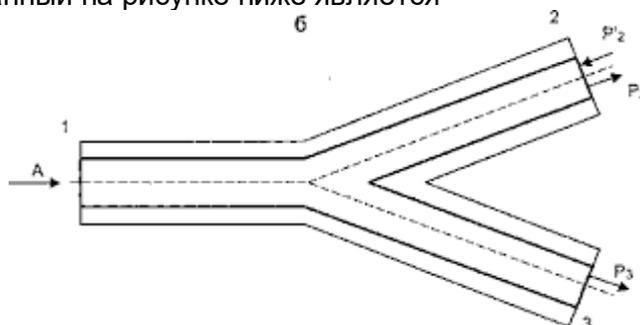
2 балла – «удовлетворительно»;

от 0 до 1 баллов – «неудовлетворительно».

ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Перечень типовых заданий для проведения текущих и промежуточных аттестаций

Примерные тестовые задания для текущего и промежуточного контроля знаний:

1. Разветвитель, показанный на рисунке ниже является



- а) разветвителем мощности 2x1
 - б) разветвителем мощности 1x3
 - в) разветвителем мощности 1x2
 - г) разветвителем мощности 2x2
 - д) разветвителем мощности 3x1
2. Устройство, которое уменьшает интенсивность светового сигнала, прошедшего через него, называется
- а) аттенуатором
 - б) поглотителем
 - в) сплиттером
 - г) отражателем
3. При создании оптических изоляторов используется
- а) эффект Зеебека
 - б) фотоэффект
 - в) эффект Пельтье
 - г) эффект Фарадея
4. Многомодовые оптические волокна со ступенчатым показателем преломления обладают
- а) малым диаметром сердцевины и малым значением числовой апертуры,
 - б) малым диаметром сердцевины и высоким значением числовой апертуры,
 - в) большим диаметром сердцевины и малым значением числовой апертуры,
 - г) большим диаметром сердцевины и высоким значением числовой апертуры.
5. Светоизлучающий диод
- а) может быть сформирован только на основе p-n-перехода,
 - б) может быть сформирован как на основе p-n-перехода, так и гетероперехода,
 - в) может быть сформирован только на основе гетероперехода,
 - г) не реализуем без слоя полупроводника с собственной проводимостью.
6. Устройство, которое принимает искаженный оптический сигнал на свой вход и преобразует его в почти идеальную копию сигнала, похожую на ту, которая была передана предыдущим передатчиком является
- а) оптическим усилителем,
 - б) терминатором,
 - в) лазером,
 - г) регенератором.
7. Какой вид дисперсии отсутствует в одномодовом волокне?
- а) межмодовая дисперсия,
 - б) хроматическая дисперсия,
 - в) поляризационная модовая дисперсия,
 - г) материальная дисперсия.

8. В некоторых случаях создаются ряд напряженных состояний, возникающих в волокне в процессе производства или намотки. Сердечник волокна и оболочка формируются в процессе

механического вытягивания, вызывающего непредсказуемое двойное лучепреломление в волокне (приводящее к обмену мощностями между двумя состояниями поляризации), в результате чего эффективная скорость распространения света в среде зависит от ориентации электрического поля света. Это приводит к возникновению

- а) поляризационной дисперсии,
 - б) материальной дисперсии,
 - в) модовой дисперсии,
 - г) хроматической дисперсии,
 - д) виртуальной дисперсии.
9. Внешние потери поглощения вызваны
- а) только молекулярным строением материала волновода,
 - б) наличием примесей только в виде гидроксильных групп,
 - в) наличием примесей только в виде металлов,
 - г) наличием примесей металлов и гидроксильных групп.
10. Обобщенным критерием технологичности оптической системы является:
- а) технологическая способность предприятия к производству данного изделия,
 - б) экономическая целесообразность при заданном качестве и принятых условиях производства, эксплуатации и ремонта,
 - в) минимальная себестоимость,
 - г) наличие необходимой технологической оснастки,
 - д) отсутствие прямых аналогов разработанного изделия,
 - е) минимальное время производства изделия.
11. Числовой характеристикой пространственного конуса, внутри которого можно осуществить ввод излучения в оптическое волокно, является:
- а) числовая апертура,
 - б) диаметр сердцевины волокна,
 - в) относительная частота,
 - г) толщина оболочки.
12. Меридиональный луч – это:
- а) луч, который образует паразитные моды оболочки оптического волокна,
 - б) луч, который распространяется в плоскости, не содержащей ось симметрии волокна,
 - в) луч, который распространяется в плоскости, проходящей через ось симметрии волокна,
 - г) луч, который не испытывает эффекта полного внутреннего отражения.
13. Единицей измерения коэффициента затухания является
- а) непер,
 - б) децибел/километр,
 - в) децибел,
 - г) бел/секунду.
14. Микроструктурное волокно – это:
- а) волокно из чистого кварцевого стекла, содержащее многочисленные поперечные слои с различным коэффициентом преломления,
 - б) волокно из чистого кварцевого стекла, содержащее многочисленные цилиндрические воздушные отверстия, параллельные оси по всей длине,
 - в) волокно из чистого кварцевого стекла, легированное редкоземельными элементами,
 - г) волокно из чистого кварцевого стекла, содержащее многочисленные свили.
15. Спекл-шум возникает в результате:
- а) нагрева оптического волокна,
 - б) изгибания оптического волокна,
 - в) случайной интерференции мод,
 - г) помещения оптического волокна в магнитное поле.

Примеры задач для текущего и промежуточного контроля знаний:

1. Вычислить значение числовой апертуры для оптического волокна, если коэффициенты преломления сердцевины и оболочки составляют 1.4902 и 1.4985 соответственно. Полученное значение округлить до 10^{-4} .

2. Вычислить значение числовой апертуры для оптического волокна, если коэффициенты преломления сердцевины и оболочки составляют 1.4922 и 1.4987 соответственно. Полученное значение округлить до 10^{-4} .
3. Оценить потери в многомодовом оптическом волокне при соединении волокон с различными значениями числовой апертуры: $NA_1 = 0.15595$ и $NA_2 = 0.12335$. Результат округлить до 10^{-2} , размерность ответа децибелы.
4. Оценить потери при соединении оптических волокон с показателями преломления 1.5264 и 1.5112 в отсутствии воздушного зазора. Результат округлить до 10^{-5} , размерность ответа децибелы.
5. Оценить потери при соединении оптических волокон с показателями преломления 1.5286 и 1.5038 в отсутствии воздушного зазора. Результат округлить до 10^{-4} , размерность ответа децибелы.
6. Оценить потери в многомодовом оптическом волокне при соединении волокон с различными значениями числовой апертуры: $NA_1 = 0.14568$ и $NA_2 = 0.1054$. Результат округлить до 10^{-2} , размерность ответа децибелы.
7. Оценить потери в многомодовом оптическом волокне при соединении волокон с различными значениями числовой апертуры: $NA_1 = 0.1678$ и $NA_2 = 0.1456$. Результат округлить до 10^{-3} , размерность ответа децибелы.
8. Оценить потери при соединении оптических волокон с показателями преломления 1.5184 и 1.5045 в отсутствии воздушного зазора. Результат округлить до 10^{-4} , размерность ответа децибелы.
9. Вычислить значение числовой апертуры для оптического волокна, если коэффициенты преломления сердцевины и оболочки составляют 1.5242 и 1.5228 соответственно. Полученное значение округлить до 10^{-4} .
10. Вычислить значение числовой апертуры для оптического волокна, если коэффициенты преломления сердцевины и оболочки составляют 1.5264 и 1.5193 соответственно. Полученное значение округлить до 10^{-3} .

Вопросы к экзамену:

1. Ключевые этапы развития волноводной фотоники и ее области применения.
2. Элементы на базе волноводной фотоники.
3. Особенности оптического диапазона передачи информации.
4. Распространение оптических волн в волноводах.
5. Оптическое волокно. Физика полного внутреннего отражения.
6. Дисперсионные явления в оптических световодах.
7. Моды в волноводах. Многомодовые оптические волокна.
8. Многослойные плоские волноводы и дисперсионные уравнения.
9. Полосковые волноводы.
10. Взаимодействие волноводных мод.
Планарный волновод с многослойным брэгговским зеркалом.
11. Условия возникновения и аналитическое описание волноводных мод.
12. Поверхностные затухающие брэгговские волны в многослойных диэлектрических средах.
13. Графический и численный методы решения дисперсионных уравнений.
14. Поглощение в материале волокна.
15. Рассеяние света в другие моды. Потери на изгибе.
16. Параметры оптического волокна: числовая апертура; модовый состав оптического волокна, диаметр светового пятна.
17. Оптическое согласование. Ввод и вывод излучения в тонкопленочный волновод.
18. Устройства согласования интегрально-оптических волноводов и волоконных световодов.
19. Связь между волноводами. Изучение условий ввода излучения в цилиндрический и планарный волноводы.
20. Модуляция и переключение света.
21. Акустооптические и электрооптические модуляторы. Интегрально-оптические модуляторы.
22. Ответители, разветвители, переключатели каналов. Оптические вентили.

23. Мультиплексоры и демультиплексоры.
24. Преобразователи мод. Источники и детекторы оптического излучения.
25. Волоконно-оптические лазеры. Лазеры с распределенной обратной связью.
26. Волоконно-оптические датчики.
27. Волоконно-оптические информационно-измерительные системы.
28. Волоконные гироскопы.
29. Интегрально-оптический фотодетектор.