

Министерство науки и высшего Российской Федерации  
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физико-технический факультет  
Кафедра оптоэлектроники



УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе и инновациям

М.В. Шарафан

28 » 2021 г.

**Рабочая учебная программа по дисциплине**

**Б1.В.ОД.3. ВОЛОКОННАЯ И ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОПТИКА**

Направление подготовки  
**03.06.01 Физика и астрономия**

Профиль программы  
**01.04.05 Оптика**

Квалификация выпускника: **Исследователь. Преподаватель-Исследователь**

Форма обучения  
**очная, заочная**

Краснодар - 2021

Рабочая программа дисциплин « Волоконная и интегральная оптика»  
составлена в соответствии с Федеральным государственным образовательным стан-  
дартом высшего образования по программе 03.06.01 «Физика и астрономия»  
(уровень подготовки кадров высшей квалификации) профиль 01.04.05 «Опти-  
ка

Программу составил  Прохоров В.П., канд. физ.-мат. наук, доцент

Заведующий кафедрой (разработчика) Яковенко Н.А., д-р техн. наук, профессор

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры (выпускающей)  
оптоэлектроники  
«07» апреля 2021 г. протокол № 8

Заведующий кафедрой (выпускающей) Яковенко Н.А., д-р техн. наук, профессор

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии факультета  
«16» апреля 2021 г. протокол № 13

Председатель УМК факультета Богатов Н.М., д-р физ.-мат. наук, профессор

Зав.отделом аспирантуры  Н.Ю. Звягинцева

## **Цели и задачи изучения дисциплины (модуля)**

### **1.1. Цель освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины – обеспечение подготовки аспирантов в области элементной базы систем оптической связи.

Дисциплина «Волоконная и интегральная оптика» входит в блок естественно-научных дисциплин, предназначенных для формирования у учащихся естественно-научного мировоззрения и твердых знаний о процессах и явлениях, связанных с физическими свойствами микромира и квантовыми явлениями на атомно-молекулярном уровне, необходимых для понимания и использования в инженерно-технических разработках. Актуальность дисциплины «Волоконная и интегральная оптика» обусловлена применением знаний, умений и навыков, полученных в процессе ее изучения, для изучения дисциплин из других блоков и успешного освоения специальности в целом.

### **1.2. Задачи дисциплины**

Основные задачи освоения дисциплины:

- привить аспирантам навыки научно-исследовательской работы и продемонстрировать широкие возможности использования техники волноводной фотоники в различных научных направлениях;
- обучить аспирантов принципам и приемам самостоятельных расчетов характеристик элементной базы волноводной фотоники, интегрально-оптических и волоконно-оптических структур;
- освоить физические принципы и математические модели волноводной фотоники;
- выработать практические навыки аналитического и численного анализа процесса распространения оптического излучения в элементной базе волноводной фотоники, а также расчета основных характеристик этих устройств;
- освоить основные методы численного моделирования и расчета основных параметров волоконных световодов, планарных и канальных интегрально-оптических волноводов.

### **1.3. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы**

Дисциплина Б1.В.ОД.3 «Волоконная и интегральная оптика» входит в блок Б1 Дисциплины (модули), Вариативную часть Б1.В, модуль Б1.В.ОД Обязательные дисциплины, учебного плана.

Дисциплина логически и содержательно-методически связана с дисциплинами модулей Б1.В.ОД.1 «Оптика» и Б1.В.ОД.2 «Взаимодействие электромагнитного излучения с веществом». Для освоения данной дисциплины необходимо владеть методами математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, решением алгебраических, дифференциальных и интегральных уравнений; теории функций комплексного переменного, теории вероятностей и математической статистики; знать основные физические законы; уметь применять математические методы и физические законы для решения практических задач.

В результате изучения настоящей дисциплины аспиранты должны получить знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и обеспечивающие базовую подготовку для усвоения дисциплин базовой и вариативной частей блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

### **1.4. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы**

Изучение данной учебной дисциплины направлено на формирование у обучающихся

следующих компетенций: УК-5, ОПК-1, ПК-1.

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
1.	УК-5	Способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития.	– содержание процесса целеполагания профессионального и личностного развития, его особенности и способы реализации при решении профессиональных задач, исходя из этапов карьерного роста и требований рынка труда (Шифр: 3 (УК-5) – 1).	– формулировать цели личного и профессионального развития и условия их достижения, исходя из тенденций развития области профессиональной деятельности, этапов профессионального роста, индивидуально-личностных особенностей (Шифр: У (УК-5) – 1); – осуществлять личный выбор в различных профессиональных и морально-ценностных ситуациях, оценивать последствия принятого решения и нести за него ответственность перед собой и обществом (Шифр: У (УК-5) – 2).	– приемами и технологиями целеполагания, целереализации и оценки результатов деятельности по решению профессиональных задач (Шифр: В (УК-5) – 1); – способами выявления и оценки индивидуально-личностных, профессионально-значимых качеств и путями достижения более высокого уровня их развития (Шифр: В (УК-5) – 2).
2.	ОПК-1	Способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в соответствующей профессиональной области с использованием современных	– современные способы использования информационно-коммуникационных технологий в выбранной сфере деятельности	– выбирать и применять в профессиональной деятельности экспериментальные и расчетно-теоретические	– навыками поиска (в том числе с использованием информационных систем и баз данных) и критического ана-

№ п.п.	Индекс компетенции	Содержание компетенции (или её части)	В результате изучения учебной дисциплины обучающиеся должны		
			знать	уметь	владеть
		методов исследования и информационно-коммуникационных технологий.	(Шифр: З (ОПК-1) – 1).	методы исследования (Шифр: У (ОПК-1) – 1).	лиза информации по тематике проводимых исследований (Шифр: В (ОПК-1) – 1); – навыками планирования научного исследования, анализа полученных результатов и формулировки выводов (Шифр: В (ОПК-1) – 2)
3.	ПК-1	Способность использовать теорию, концепцию и принципы в предметной области исследования природы света и его распространения и взаимодействия с веществом, а также основы технологий передачи информации и энергии, диагностики объектов различной природы.	– теорию и концепцию распространения света и его взаимодействие с веществом (Шифр: З (ПК-1) – 1); – основы технологий передачи информации и обработки информации и энергии (Шифр: З (ПК-1) – 2).	– применять принципы и методы исследования взаимодействия света с веществом (Шифр: У (ПК-1) – 1); – применять принципы и методы диагностики различных оптических систем (Шифр: У (ПК-1) – 2).	– методами диагностики, исследования и конструирования различных оптических систем (Шифр: В (ПК-1) – 1).

## 2. Структура и содержание дисциплины

### 2.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зач.ед. (108 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице (для аспирантов ОФО).

Вид учебной работы	Всего часов	Курс			
		4			
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	54	54			
В том числе:					
Занятия лекционного типа	18	18			

Занятия семинарского типа (семинары, практические занятия, коллоквиумы и иные аналогичные занятия)	18	18			
Занятия лабораторного типа (практикумы, лабораторные работы)	18	18			
Контролируемая самостоятельная работа	–	–			
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	<b>54</b>	<b>54</b>			
В том числе:					
Курсовая работа	–	–			
Контроль	–	–			
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)	зачет	зачет			
Общая трудоемкость	час	108	108		
	зач. ед.	3	3		

## 2.2. Структура дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины.  
Разделы дисциплины, изучаемые на 4 курсе (для аспирантов ОФО):

№ раздела	Наименование разделов	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Самостоятельная работа
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Интегрально-оптические волноводы и их характеристики	56	10	10	10	26
2	Оптические волокна и их характеристики	52	8	8	8	28
	<i>Всего:</i>	108	18	18	18	54

## 2.3. Содержание разделов (тем) дисциплины

### 2.3.1. Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	Интегрально-оптические волноводы и их характеристики.	Классификация и общие свойства оптических волноводов. ТЕ- и ТМ-моды в асимметричном планарном оптическом волноводе. Эффективный показатель преломления волноводных мод, эффективная глубина градиентного волновода, поляризация мод. Волноводные моды планарных и канальных градиентных волноводов. Нормированные переменные. Метод эффективного показателя преломления. Пассивные и активные компоненты интегрально-оптических схем. Ввод-вывод излучения в интегрально-оптические схемы. Ин-	ответы на контрольные вопросы; тестирование; реферат

		тегрально-оптические устройства и оптические интегральные схемы для систем передачи и обработки информации.	
2	Оптические волокна и их характеристики.	Физические основы распространения излучения в оптических волноводах и оптическом волокне. Многомодовые и одномодовые, ступенчатые и градиентные оптические волокна. Числовая апертура. Информационная емкость оптического волокна. Виды дисперсии. Энергетические потери в оптических волокнах.	ответы на контрольные вопросы; тестирование; реферат

### 2.3.2. Занятия семинарского типа

№	Наименование раздела	Содержание раздела	Форма текущего контроля
1	Интегрально-оптические волноводы и их характеристики.	Классификация и общие свойства оптических волноводов. ТЕ- и ТМ-моды в асимметричном планарном оптическом волноводе. Эффективный показатель преломления волноводных мод, эффективная глубина градиентного волновода, поляризация мод. Волноводные моды планарных и канальных градиентных волноводов. Нормированные переменные. Метод эффективного показателя преломления. Пассивные и активные компоненты интегрально-оптических схем. Ввод-вывод излучения в интегрально-оптические схемы. Интегрально-оптические устройства и оптические интегральные схемы для систем передачи и обработки информации.	ответы на контрольные вопросы; выполнение практических заданий; тестирование; реферат
2	Оптические волокна и их характеристики.	Физические основы распространения излучения в оптических волноводах и оптическом волокне. Многомодовые и одномодовые, ступенчатые и градиентные оптические волокна. Числовая апертура. Информационная емкость оптического волокна. Виды дисперсии. Энергетические потери в оптических волокнах.	ответы на контрольные вопросы; выполнение практических заданий; тестирование; реферат

### 2.3.3. Лабораторные занятия

№ п/п	Наименование лабораторных работ	Кол-во часов	Форма текущего контроля
1	Численный расчет эффективных показателей преломления волноводных мод планарных волноводов с градиентным профилем показателя преломления	8	Отчет по лабораторной работе
2	Численный расчет эффективных показателей преломления волноводных мод канальных волноводов с одномерным градиентным профилем показателя преломления $n(x)$	6	Отчет по лабораторной работе

3	Программа численного расчета эффективного показателя преломления фундаментальной волноводной моды LP <sub>01</sub> одномодового оптического волокна со ступенчатым профилем и многомодового оптического волокна с градиентным профилем	4	Отчет по лабораторной работе
<i>Итого:</i>		18	

Лабораторные работы выполняются в мультимедийном классе специальных дисциплин в инженерно-математической системе MATHCAD с использованием встроенных в эту систему средств программирования и графической визуализации результатов численных расчетов.

По итогам выполнения каждой лабораторной работы аспирант составляет подробный письменный отчет и заверченный программный код в формате компьютерной системы MATHCAD (файл \*.xmcd), опираясь на который должен в беседе с преподавателем продемонстрировать знание теоретического и экспериментального материала, относящегося к работе. Проверка знаний студента основана на контрольных вопросах, приведенных в описании работы и дополнительных вопросах, касающихся соответствующих разделов основной дисциплины «Волоконная и интегральная оптика».

В результате выполнения лабораторных работ у аспирантов формируются и оцениваются требуемые ФГОС ВО и ООП по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), профиль: 01.04.05 «Оптика» компетенции: УК-5, ОПК-1, ПК-1.

### **Лабораторная работа № 1.**

#### **Численный расчет эффективных показателей преломления волноводных мод планарных волноводов с градиентным профилем показателя преломления.**

Цель работы:

- изучить физические принципы распространения электромагнитного излучения в планарных интегрально-оптических волноводах с градиентным профилем показателя преломления;
- изучить методику теоретического расчета эффективных показателей преломления волноводных мод в планарных градиентных волноводах;
- освоить основные численные методы решения нелинейных трансцендентных уравнений;
- написать и отладить программу численного расчета эффективных показателей преломления волноводных мод с ТЕ- и ТМ-поляризацией для планарного градиентного волновода в рамках системы компьютерной математики MATHCAD.

В процессе выполнения работы студент, руководствуясь методическими указаниями к выполнению данной работы:

- определяет основные расчетные соотношения;
- разрабатывает алгоритм численного расчета эффективных показателей преломления волноводных мод в градиентных волноводах;
- составляет соответствующую программу численного расчета в инженерно-компьютерной системе MATHCAD;
- осуществляет отладку программы, используя типовые наборы входных данных для ионообменных волноводов, приведенные в задании к лабораторной работе;
- предоставляет заверченный программный код в формате компьютерной системы MATHCAD (файл \*.xmcd) преподавателю для проверки и отвечает на вопросы преподавателя для получения зачета за выполненную работу.

### **Лабораторная работа № 2.**

#### **Численный расчет эффективных показателей преломления волноводных мод**



**канальных волноводов с одномерным градиентным профилем показателя преломления  $n(x)$ .**

Цель работы:

– изучить физические принципы распространения электромагнитного излучения в канальных интегрально-оптических волноводах с градиентным профилем показателя преломления;

– изучить методику теоретического расчета эффективных показателей преломления волноводных мод в канальных волноводах с одномерным градиентным профилем;

– написать и отладить программу численного расчета эффективных показателей преломления волноводных мод с ТЕ- и ТМ-поляризацией для канального градиентного волновода в рамках системы компьютерной математики MATHCAD.

В процессе выполнения работы студент, руководствуясь методическими указаниями к выполнению данной работы:

– осваивает метод эффективного показателя преломления;

– определяет основные расчетные соотношения;

– разрабатывает алгоритм численного расчета эффективных показателей преломления волноводных мод в канальных волноводах с одномерным градиентным профилем;

– составляет соответствующую программу численного расчета в инженерно-компьютерной системе MATHCAD;

– осуществляет отладку программы, используя типовые наборы входных данных для ионообменных волноводов, приведенные в задании к лабораторной работе;

– предоставляет завершенный программный код в формате компьютерной системы MATHCAD (файл \*.xmcad) преподавателю для проверки и отвечает на вопросы преподавателя для получения зачета за выполненную работу.

### **Лабораторная работа № 3.**

**Программа численного расчета эффективного показателя преломления фундаментальной волноводной моды  $LP_{01}$  одномодового оптического волокна со ступенчатым профилем и много-модового оптического волокна с градиентным профилем.**

Цель работы:

– изучить физические принципы распространения электромагнитного излучения в оптических волокнах со ступенчатым профилем показателя преломления;

– изучить методику теоретического расчета постоянных распространения симметричных магнитных Н-мод и электрических Е-мод в ступенчатом оптическом волокне;

– освоить основные численные методы решения нелинейных трансцендентных уравнений в цилиндрической системе координат;

– написать и отладить программу численного расчета постоянных распространения симметричных магнитных Н-мод и электрических Е-мод в ступенчатом оптическом волокне в рамках системы компьютерной математики MATHCAD.

В процессе выполнения работы студент, руководствуясь методическими указаниями к выполнению данной работы:

– определяет основные расчетные соотношения;

– разрабатывает алгоритм численного расчета постоянных распространения симметричных магнитных Н-мод и электрических Е-мод в ступенчатом оптическом волокне;

– составляет соответствующую программу численного расчета в инженерно-компьютерной системе MATHCAD;

– осуществляет отладку программы, используя типовые наборы входных данных для ступенчатых оптических волокон, приведенные в задании к лабораторной работе;

– предоставляет завершенный программный код в формате компьютерной системы MATHCAD (файл \*.xmcad) преподавателю для проверки и отвечает на вопросы преподавателя для получения зачета за выполненную работу.

### 2.3.4. Примерная тематика курсовых работ (проектов)

Согласно учебному плану курсовые работы (проекты) по данной дисциплине не предусмотрены.

### 2.4. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине (модулю)

№ п/п	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	Проработка учебного (теоретического) материала); выполнение индивидуальных заданий; реферат; подготовка к текущей и промежуточной аттестации	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.
2	Подготовка к практическим занятиям	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.
3	Подготовка к выполнению лабораторных работ	Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

№ п/п	Наименование раздела (темы)	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	Интегрально-оптические волноводы и их характеристики.	1. Материалы и технологии интегральной и волоконной оптики [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.И. Игнатъев [и др.]. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2009. – 78 с. – Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/43662">https://e.lanbook.com/book/43662</a>
2	Оптические волокна и их характеристики.	2. Панов М.Ф. Физические основы фотоники [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М.Ф. Панов, А.В. Соломонов. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2017. – 564 с. – Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/92656">https://e.lanbook.com/book/92656</a> 3. Прохоров В.П. Моделирование физико-технологических параметров оптических ионообменных волноводов / Прохоров В.П., Яковенко Н.А. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2014. 4. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения. В 2 т. Пер с англ. В.Л.Дербова. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2012. 5. Сидоров А.И. Основы фотоники: физические принципы и методы преобразования оптических сигналов в устройствах фотоники [Электронный ресурс]: учеб. пособие – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2014. – 148 с. – Ре-

		<p>жим доступа:  <a href="https://e.lanbook.com/book/70977">https://e.lanbook.com/book/70977</a></p> <p>6. Барыбин А.А. Электродинамика волнующих структур. Теория возбуждения и связи волн [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Москва: Физматлит, 2007. – 512 с. – Режим доступа:  <a href="https://e.lanbook.com/book/2106">https://e.lanbook.com/book/2106</a></p> <p>7. Игнатов, А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника: учеб. пособие [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – СПб: Лань, 2017. – 596 с. – Режим доступа:  <a href="https://e.lanbook.com/book/95150">https://e.lanbook.com/book/95150</a></p> <p>8. Ларкин А.И., Юу Ф.Т.С. Когерентная фотоника. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.</p> <p>9. Оптоэлектроника. Ч. 1: Физические основы полупроводниковой оптоэлектроники. Когерентная оптоэлектроника / О.Н. Ермаков, А.Н. Пихтин, Ю.Ю. Протасов, С.А. Тарасов; под общ. ред. И.Б. Федорова. – М.: Янус-К, 2010.</p> <p>10. Оптоэлектроника. Ч. 2: Оптроника / О.Н. Ермаков, А.Н. Пихтин, Ю.Ю. Протасов, С.А. Тарасов; под общ. ред. И.Б. Федорова. – М.: Янус-К, 2011.</p> <p>11. Панов М.Ф. Физические основы интегральной оптики. – М.: Академия, 2010.</p> <p>12. Сидоров А.И. Материалы и технологии интегральной оптики. Учебное пособие, курс лекций [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.И. Сидоров, Н.В. Никоноров. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2009. – 107 с. – Режим доступа:  <a href="https://e.lanbook.com/book/43788">https://e.lanbook.com/book/43788</a></p> <p>13. Сидоров А.И. Материалы и технологии волоконной оптики: оптическое волокно для систем передачи информации [Электронный ресурс] / А.И. Сидоров, Н.В. Никоноров. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2009. – 95 с. – Режим доступа:  <a href="https://e.lanbook.com/book/40804">https://e.lanbook.com/book/40804</a></p>
--	--	---

### 3. Образовательные технологии

В процессе преподавания дисциплины используются следующие методы:

- лекции;
- проведение практических занятий;
- проведение лабораторных занятий;
- домашние задания;
- опрос;
- индивидуальные практические задания;
- контрольные работы;
- тестирование;
- публичная защита лабораторных работ;
- консультации преподавателей;

– самостоятельная работа аспирантов (изучение теоретического материала, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение домашних работ и индивидуальных типовых расчетов, подготовка к опросу, тестированию и зачету).

Для проведения всех лекционных и практических (семинарских) занятий используются мультимедийные средства воспроизведения активного содержимого, позволяющего слушателю воспринимать особенности изучаемого материала, зачастую играющие решающую роль в понимании и восприятии, а также формировании профессиональных компетенций. Интерактивные аудиторские занятия с использованием мультимедийных систем позволяют активно и эффективно вовлекать учащихся в учебный процесс и осуществлять обратную связь. Помимо этого, становится возможным эффективное обсуждение сложных и дискуссионных вопросов и проблем.

По изучаемой дисциплине аспирантам предоставляется возможность открыто пользоваться (в том числе копировать на личные носители информации) подготовленными ведущим данную дисциплину преподавателем материалами в виде **электронного комплекса сопровождения**, включающего в себя:

- электронные конспекты лекций;
- электронные планы практических (семинарских) занятий;
- электронные варианты учебно-методических пособий для выполнения лабораторных заданий;
- списки контрольных вопросов к каждой теме изучаемого курса;
- разнообразную дополнительную литературу, относящуюся к изучаемой дисциплине в электронном виде (в различных текстовых форматах \*.doc, \*.rtf, \*.htm, \*.txt, \*.pdf, \*.djvu и графических форматах \*.jpg, \*.png, \*.gif, \*.tif).

Сопровождение самостоятельной работы аспирантов также организовано в следующих формах:

- усвоение, дополнение и вникание в разбираемые разделы дисциплины при помощи знаний получаемых по средствам изучения рекомендуемой литературы и осуществляемое путем написания реферативных работ;
- консультации, организованные для разъяснения проблемных моментов при самостоятельном изучении тех или иных аспектов разделов усваиваемой информации в дисциплине.

Основные образовательные технологии, используемые в учебном процессе:

- интерактивная лекция с мультимедийной системой с активным вовлечением аспирантов в учебный процесс и обратной связью;
- лекции с проблемным изложением;
- обсуждение сложных и дискуссионных вопросов и проблем и разрешение проблем;
- компьютерные занятия в режимах взаимодействия «преподаватель – аспирант», «аспирант – преподаватель», «аспирант – аспирант»;
- технологии смешанного обучения: дистанционные задания и упражнения, составление глоссариев терминов и определений, групповые методы Wiki, интернет-тестирование и анкетирование.

Интерактивные образовательные технологии, используемые в аудиторских занятиях:

- технология развития критического мышления;
- лекции с проблемным изложением;
- использование средств мультимедиа;
- изучение и закрепление нового материала (интерактивная лекция, работа с наглядными пособиями, видео- и аудиоматериалами, использование вопросов, Сократический диалог);
- обсуждение сложных и дискуссионных вопросов и проблем («Займи позицию (шкала мнений)», проективные техники, «Один – вдвоем – все вместе», «Смени позицию», «Дискуссия в стиле телевизионного ток-шоу», дебаты, симпозиум);
- разрешение проблем («Дерево решений», «Мозговой штурм», «Анализ казусов»);

- творческие задания;
- работа в малых группах;
- использование средств мультимедиа (компьютерные классы);
- технология компьютерного моделирования численных расчетов в инженерно-математической системе MATHCAD (или системе компьютерной математики MATLAB).

#### **4. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

##### **4.1. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля**

Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля содержит:

- контрольные вопросы по учебной программе;
- практические задания по учебной программе;
- тестовые задания по учебной программе;
- темы рефератов по учебной программе.

##### **Контрольные вопросы по учебной программе**

В процессе подготовки и ответов на контрольные вопросы формируются и оцениваются все требуемые ФГОС ВО и ООП по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), профиль: 01.04.05 «Оптика» компетенции: УК-5, ОПК-1, ПК-1.

Ниже приводятся примеры контрольных вопросов для рабочей программы.

Полный комплект контрольных вопросов для всех разделов рабочей программы приводится в ФОС дисциплины Б1.В.ОД.3 «Волоконная и интегральная оптика».

##### **Раздел 1. Интегрально-оптические волноводы и их характеристики.**

1. Какие типы оптических волноводов используются в интегрально-оптических устройствах?
2. По каким параметрам классифицируются оптические волноводы?
3. Какие законы оптики приводят к волноводному распространению электромагнитных волн?
4. Какие требования предъявляются к материалам интегральной оптики? Перечислите виды материалов, используемых в интегральной оптике.
5. Какие технологии используются для изготовления устройств интегральной оптики?
6. От чего зависит распределение поля в волноводной моде?
7. Какие типы мод бывают в волноводах?
8. Чем определяется количество мод волновода?
9. Где используются оптические волноводы прямоугольного и круглого сечения?
10. Каким образом можно сформировать профиль показателя преломления планарного волновода?
11. Перечислите основные методы получения волноводов и их особенности.
12. В чем заключается принцип ионного обмена? Перечислите основные преимущества метода ионного обмена.

##### **Раздел 2. Оптические волокна и их характеристики.**

1. Какие волокна называются ступенчатыми и градиентными?
2. Что такое числовая апертура для ступенчатого волокна? Выведите формулу для ее расчета.
3. Как определяется числовая апертура для градиентного волокна? Что такое локаль-

ная числовая апертура?

4. От чего зависит мощность излучения, вводимая в волокно? Как можно увеличить эту мощность? Почему такое увеличение мощности нецелесообразно?

5. Опишите вид траектории при распространении лучей в ступенчатом волокне и в градиентном волокне (для случая, когда применима лучевая трактовка).

6. К чему приводит увеличение разности показателей преломления  $n_{\text{серд}} - n_{\text{об}}$ ? Почему изготавливают волокна с очень малыми значениями разности показателей преломления  $n_{\text{серд}} - n_{\text{об}}$ ?

7. Влияют ли параметры затухающей волны, существующей в оболочке, на волну в сердцевине волокна?

8. Опишите вид волны в сердцевине, определяемой функцией Бесселя? Как можно охарактеризовать волну в оболочке?

9. При каком условии в оптическом волокне будет распространяться только одна мода?

10. Как можно рассчитать количество мод, распространяющихся в ступенчатом и градиентном волокне при больших значениях нормированной частоты  $V$ ?

11. Что такое межмодовая дисперсия? В каких единицах измеряется межмодовая дисперсия?

12. Выведите формулу для расчета межмодовой дисперсии в ступенчатом волокне. Чему равна межмодовая дисперсия в градиентном волокне для меридиональных лучей?

13. Что такое материальная дисперсия? В каких единицах измеряется материальная дисперсия?

14. Что такое хроматическая дисперсия?

15. Что такое ПМД (поляризационная модовая дисперсия)? В каких единицах измеряется поляризационная модовая дисперсия? Можно ли скомпенсировать ПМД?

16. Как учесть совместное влияние различных видов дисперсии?

17. Как зависит диэлектрическая проницаемость среды от частоты? Какие частоты называются резонансными? Как их определить по графику зависимости диэлектрической проницаемости среды от частоты?

18. Что такое ширина спектра источника излучения?

25. Каковы виды потерь в оптическом волокне? Чем определяются потери в длинноволновой области? Какие примеси приводят к увеличению потерь вблизи длины волны 1480 нм?

26. Чем определяются кабельные потери?

27. Что такое длина отсечки волокна?

## Практические задания по учебной программе

В процессе подготовки и выполнения практических заданий формируются и оцениваются все требуемые ФГОС ВО и ООП по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), профиль: 01.04.05 «Оптика» компетенции: УК-5, ОПК-1, ПК-1.

Ниже приводятся примеры практических заданий для рабочей программы.

Полный комплект практических заданий для всех разделов рабочей программы приводится в ФОС дисциплины Б1.В.ОД.3 «Волоконная и интегральная оптика».

### Раздел 1. Интегрально-оптические волноводы и их характеристики.

#### Распределение поля.

1. Покажите, что одна плоская ТЕМ-волна  $E_x(y, z) = A \cdot \exp(-jk_y y) \cdot \exp(-j\beta z)$  не может удовлетворить граничным условиям  $E_x(\pm d/2, z) = 0$  при любом  $z$  в зеркальном волноводе.

2. Покажите, что сумма двух плоских ТЕМ-волн, записанная в виде

$$E_x(y, z) = A_1 \exp(-jk_{y1} y) \exp(-j\beta_1 z) + A_2 \exp(-jk_{y2} y) \exp(-j\beta_2 z),$$

удовлетворяет граничным условиям, если  $A_1 = \pm A_2$ ,  $\beta_1 = \beta_2$  и  $k_{y1} = -k_{y2} = m\pi/d$ , где  $m = 1, 2, \dots$ .

### Модовая дисперсия.

3. Свет с длиной волны  $\lambda_0 = 0,633$  мкм проходит через зеркальный волновод с расстоянием между зеркалами  $d = 10$  мкм и  $n = 1$ . Определите число ТЕ- и ТМ-мод. Определите групповые скорости для наиболее быстрой и медленной моды. Если короткий импульс света переносится всеми модами волновода на расстояние 1 м, то насколько импульс уширится из-за различия групповых скоростей?

### Параметры диэлектрического волновода.

4. Свет, имеющий в свободном пространстве длину волны  $\lambda = 0,87$  мкм, направляется тонкой плоской пленкой толщины  $d = 2$  мкм с показателем преломления  $n_1 = 1,6$ , которую окружает среда с показателем преломления  $n_2 = 1,4$ .

Определите критический угол  $\theta_{кр}$  и дополнительный к нему  $\bar{\theta}_{кр}$ , числовую апертуру NA и максимальный угол приема для света, падающего из воздуха ( $n = 1$ ).

Определите число ТЕ-мод.

Определите угол наклона  $\theta$  и групповую скорость  $v$  для ТЕ-моды с  $m = 0$ .

### Влияние оболочки.

5. Повторите расчет из предыдущей задачи, считая, что пленка находится в воздухе ( $n = 1$ ). Сравните результаты.

### Распределение поля.

6. Поперечное распределение  $u_m(y)$  комплексной амплитуды электрического поля ТЕ-моды в пластинчатом волноводе дается формулами (28) и (31). Выведите выражение для отношения констант пропорциональности. Постройте график ТЕ-моды с  $m = 0$  для пластинчатого волновода с параметрами  $n_1 = 1,48$ ,  $n_2 = 1,46$ ,  $d = 0,5$  мкм,  $\lambda_0 = 0,85$  мкм и определите фактор ограничения (процент энергии, локализованной внутри сердцевинки).

### Вывод распределения поля с использованием уравнений Максвелла.

7. Предполагая, что электрическое поле в симметричном диэлектрическом волноводе ведет себя гармонически внутри слоя, экспоненциально — вне слоя и в обеих средах имеет постоянную распространения  $\beta$ , можно записать  $E_x(y, z) = u(y) \cdot \exp(-j\beta z)$ , где

$$u(y) = \begin{cases} A \cos(k_y y + \varphi), & -\frac{d}{2} \leq y \leq \frac{d}{2}; \\ B \exp(-\gamma y), & y > \frac{d}{2}; \\ B \exp(\gamma y), & y < -\frac{d}{2}. \end{cases}$$

Чтобы удовлетворить уравнению Гельмгольца, необходимо

$$k_y^2 + \beta^2 = n_1^2 k_0^2; \quad -\gamma^2 + \beta^2 = n_2^2 k_0^2.$$

Используйте уравнения Максвелла, чтобы вывести выражения для  $H_y(y, z)$  и  $H_z(y, z)$ . Покажите, что граничные условия удовлетворяются, если  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $k_y$  принимают значения  $\beta_m$ ,  $\gamma_m$  и  $k_{ym}$ , выведенные в тексте, и проверьте выполнение условия самосогласования (22).

### Одномодовый волновод.

8. Какова наибольшая толщина  $d$  планарного симметричного диэлектрического волновода с показателями преломления  $n_1 = 1,50$  и  $n_2 = 1,46$ , для которого существует только одна ТЕ-мода на длине волны  $\lambda_0 = 1,3$  мкм? Каково число мод, если при той же толщине слоя заменить длину волны на  $\lambda_0 = 0,85$  мкм?

### Отсечка моды.

9. Покажите, что условие отсечки для ТЕ-моды  $m > 0$  в симметричном пластинчатом волноводе с  $n_1 \approx n_2$  приближенно записывается как

$$\lambda_0^2 \approx 8n_1 \frac{\Delta n d^2}{m^2},$$

где  $\Delta n = n_1 - n_2$ .

#### **ТМ-моды.**

10. Выведите выражение для углов наклона ТМ-мод, аналогичное (22). С помощью компьютера постройте график, аналогичный рис. 12, для ТМ-мод в волноводе с  $\sin \bar{\theta}_{\text{кр}} = 0,3$  и  $\lambda/2d = 0,1$ . Каково число ТМ-мод?

#### **Моды прямоугольного диэлектрического волновода.**

11. Прямоугольный диэлектрический волновод имеет квадратное сечение площадью  $10^{-2} \text{ мм}^2$  и числовую апертуру  $\text{NA} = 0,1$ . Используйте (46) для построения графика числа ТЕ-мод как функции частоты  $\nu$ . Сравните ваши результаты с рис. 14.

#### **Коэффициенты связи между двумя слоями.**

12. Используйте (52) для определения коэффициентов связи между двумя идентичными пластинчатыми волноводами толщиной  $d = 0,5 \text{ мкм}$ , расстояние между которыми  $2a = 1 \text{ мкм}$ , показатели преломления  $n_1 = n_2 = 1,48$ , в среде с показателем преломления  $n = 1,46$  при  $\lambda_0 = 0,85 \text{ мкм}$ . Считайте, что оба волновода работают на ТЕ-моды с  $m = 0$ , и используйте результаты задачи 6 для нахождения поперечного распределения поля.

Определите длину волновода, при которой он действует как 50%-делитель.

## **Раздел 2. Оптические волокна и их характеристики.**

#### **Коэффициент передачи оптической мощности.**

1. Источник излучает свет мощностью  $P_0$  с распределением  $I(\theta) = (1/\pi)P_0 \cdot \cos \theta$ , где  $I(\theta)$  – мощность, приходящаяся на единицу телесного угла в направлении, образующем угол  $\theta$  с осью волокна. Покажите, что мощность, собираемая волокном, равна  $P = (\text{NA})^2 P_0$ , так что коэффициент передачи составляет  $(\text{NA})^2$ , где  $\text{NA}$  — числовая апертура волокна.

2. Пусть источником является плоский светодиод с показателем преломления  $n_s$ , присоединенный к волокну, причем площадь сечения волокна больше, чем площадь излучающей поверхности светодиода. Рассчитайте числовую апертуру волокна и коэффициент передачи, если  $n_1 = 1,46$ ;  $n_2 = 1,455$  и  $n_s = 3,5$ .

#### **Числовая апертура градиентного волокна.**

3. Сравните числовые апертуры волокна со ступенчатым профилем показателя преломления с  $n_1 = 1,45$  и  $\Delta = 0,01$  и градиентного волокна с  $n_1 = 1,45$ ,  $\Delta = 0,01$  и параболическим профилем показателя преломления ( $p = 2$ ).

#### **Моды.**

4. Волокно со ступенчатым профилем показателя преломления имеет радиус  $a = 5 \text{ мкм}$ , показатель преломления сердцевины  $n_1 = 1,45$  и относительную разность показателей преломления  $\Delta = 0,002$ . Определите наименьшую длину волны  $\lambda_c$ , при которой волокно является одномодовым. На длине волны  $\lambda_c/2$  определите индексы ( $l, m$ ) всех направляемых мод.

#### **Модовая дисперсия.**

5. Волокно со ступенчатым профилем показателя преломления имеет числовую апертуру  $\text{NA} = 0,16$ , радиус сердцевины  $a = 45 \text{ мкм}$  и показатель преломления сердцевины  $n_1 = 1,45$ . На используемой длине волны  $\lambda_0 = 1,3 \text{ мкм}$  дисперсия материала пренебрежимо мала. Очень короткий импульс входит в волокно при  $t = 0$  и проходит расстояние 1 км. Нарисуйте форму принимаемого импульса:

а) используя лучевую оптику и рассматривая только меридиональные лучи;

б) используя волновую оптику и рассматривая только меридиональные ( $l = 0$ ) моды.

#### **Постоянные распространения и групповые скорости.**

6. Ступенчатое волокно с показателями преломления  $n_1 = 1,444$  и  $n_2 = 1,443$  работает на длине волны  $\lambda_0 = 1,55 \text{ мкм}$ . Определите радиус сердцевины, при котором параметр волокна  $V$  равен 10. Используйте рис. 11 для оценки постоянных распространения всех направляемых мод с  $l = 0$ . Пусть теперь радиус сердцевины изменился так, что  $V = 4$ . Используйте рис. 16,а для определения фазовой скорости, постоянной распространения и групповой скорости



фундаментальной моды  $LP_{01}$ . Дисперсией материала пренебречь.

**Постоянные распространения и волновой вектор (ступенчатое волокно).**

7. Волокно со ступенчатым профилем показателя преломления радиуса  $a = 20$  мкм с показателями преломления  $n_1 = 1,47$  и  $n_{21} = 1,46$  работает на длине волны  $\lambda_0 = 1,55$  мкм. Применяя теорию квазиплоских волн и рассматривая только направляемые моды с азимутальным индексом  $l = 1$ :

- определите наименьшую и наибольшую постоянные распространения;
- для моды с наименьшей постоянной распространения определите внешний и внутренний радиусы цилиндрического слоя, в котором заключена волна, а также компоненты волнового вектора  $k$  при  $r = 5$  мкм.

**Постоянные распространения и волновой вектор (градиентное волокно).**

8. Проведите те же самые расчеты, что и в предыдущей задаче, но для градиентного волокна с параболическим профилем показателя преломления ( $p = 2$ ).

**Потери из-за рассеяния.**

9. На длине волны  $\lambda_0 = 820$  нм потери из-за поглощения в волокне составляют 0,25 дБ/км, а потери из-за рассеяния – 2,25 дБ/км. На длине волны  $\lambda_0 = 600$  нм calorиметрические измерения нагрева волокна из-за поглощения света дают потери 2 дБ/км. Найдите полный коэффициент затухания на  $\lambda_0 = 600$  нм.

**Модовая дисперсия в ступенчатом волокне.**

10. Определите радиус сердцевины многомодового волокна со ступенчатым профилем показателя преломления, имеющего числовую апертуру  $NA = 0,1$ , если на длине волны  $\lambda_0 = 0,87$  мкм число мод составляет  $M = 5000$ . При показателе преломления сердцевины  $n_1 = 1,445$ , групповом показателе преломления  $N_1 = 1,456$  и  $\Delta$ , приблизительно не зависящем от длины волны, определите время отклика из-за модовой дисперсии  $\sigma_\tau$  для волокна длиной 2 км.

**Модовая дисперсия в градиентном волокне.**

11. Рассмотрим градиентное волокно с  $a/\lambda_0 = 10$ ;  $n_1 = 1,45$ ;  $\Delta = 0,01$  и степенным профилем с показателем  $p$ . Определите число мод  $M$  и скорость расплывания импульса из-за модовой дисперсии  $\sigma_\tau/L$  при  $p = 1,9; 2; 2,1$  и  $\infty$ .

**Распространение импульса.**

12. Импульс с начальной длительностью  $\tau_0$  передается по градиентному волокну длиной  $L$  км со степенным ( $p$ ) профилем показателя преломления. Наибольший показатель преломления  $n_1$  зависит от длины волны, причем

$$D_\lambda = -\frac{\lambda_0}{c_0} \frac{d^2 n_1}{d\lambda_0^2},$$

$\Delta$  почти не зависит от длины волны, спектральная ширина источника света составляет  $\sigma_\lambda$ , а рабочая длина волны равна  $\lambda_0$ . Обсудите влияние увеличения каждого из параметров  $L$ ,  $\tau_0$ ,  $p$ ,  $|D_\lambda|$ ,  $\sigma_\lambda$  и  $\lambda_0$  на длительность принимаемого импульса.

### Тестовые задания по учебной программе

В процессе подготовки и выполнения тестовых заданий формируются и оцениваются все требуемые ФГОС ВО и ООП по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), профиль: 01.04.05 «Оптика» компетенции: УК-5, ОПК-1, ПК-1.

Тестовые задания состоит из ряда теоретических вопросов по тематическим разделам рабочей программы учебной дисциплины.

Система оценок выполнения контрольного тестирования:

- «отлично» – количество правильных ответов от 85% до 100%;
- «хорошо» – количество правильных ответов от 70% до 84%;
- «удовлетворительно» – количество правильных ответов от 55% до 69%.

Ниже приводится пример контрольного тестирования в виде полного варианта одного из тестовых заданий.

Полный комплект тестовых заданий для всех разделов рабочей программы приводится в ФОС дисциплины Б1.В.ОД.3 «Волоконная и интегральная оптика».

### **Тест № 1. Волоконная оптика как коммуникационная среда**

1. Перечислите основные компоненты волоконно-оптической системы.
  - 1) Волоконно-оптический кабель, источник, детектор, соединители.
  - 2) Источник, коаксиальный кабель, детектор, соединители.
  - 3) Волоконно-оптический кабель, повторитель, соединители.
  - 4) Волоконно-оптический кабель, источник, соединители.
  
2. По мере увеличения частоты сигнала потери в медном / оптическом кабеле...
  - 1) Уменьшаются / не изменяются.
  - 2) Уменьшаются / увеличиваются.
  - 3) Увеличиваются / не изменяются.
  - 4) Без изменений / уменьшаются.
  
3. Что из ниже перечисленного является наиболее важным следствием широкой полосы пропускания оптического волокна?
  - 1) Высокая скорость и информационная емкость линий.
  - 2) Меньшее число повторителей.
  - 3) Невосприимчивость по отношению к электромагнитным полям.
  - 4) Все выше перечисленное.
  
4. Перечислите наиболее важные преимущества оптики как коммуникационной среды.
  - 1) Широкая полоса пропускания, нечувствительность к электромагнитным помехам, низкие потери.
  - 2) Малый вес, малый размер.
  - 3) Безопасность, секретность.
  - 4) Все выше перечисленные.
  
5. По мере распространения сигнала в оптическом кабеле затухание...
  - 1) Не зависит от частоты и остается постоянным в определенном диапазоне частот.
  - 2) Зависит от частоты и остается постоянным в определенном диапазоне частот.
  - 3) Не зависит от частоты и изменяется в диапазоне частот.
  - 4) Зависит от частоты и изменяется в диапазоне частот.
  
6. Как называется волокно с переменным показателем преломления луча?
  - 1) Волокно со ступенчатым индексом.
  - 2) Многомодовое волокно.
  - 3) Волокно со сглаженным индексом.
  - 4) Волокно со смещенной дисперсией.
  
7. Модовая дисперсия может быть уменьшена с помощью...
  - 1) Использованием ядра с меньшим диаметром.
  - 2) Использованием волокна со сглаженным индексом.
  - 3) Использованием одномодового волокна.
  - 4) Всех упомянутых выше способов.
  
8. При уменьшении диаметра ядра в оптоволокне широта пропускания / потери...
  - 1) Уменьшаются / уменьшаются.
  - 2) Увеличиваются / уменьшаются.

- 3) Увеличиваются / увеличиваются.
  - 4) Без изменений / увеличиваются.
9. Что определяет затухание в оптоволокне?
- 1) Рассеяние.
  - 2) Поглощение.
  - 3) Потери на стыках и изгибах.
  - 4) Все выше перечисленные.

10. Какое главное требование при вытяжке оптоволокна?

- 1) Недопустимость образование микротрещин;
- 2) Достаточная механическая прочность;
- 3) Однородность диаметра волокна;
- 4) Все перечисленные.

### **Темы рефератов по учебной программе**

В процессе подготовки и написания реферата у аспирантов формируются и оцениваются все требуемые ФГОС ВО и ООП по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), профиль: 01.04.05 «Оптика» компетенции: УК-5, ОПК-1, ПК-1.

1. Перспективы развития систем оптической записи информации.
2. Модификация метода эффективного показателя преломления для двумерных градиентных волноводов.
3. Ввод-вывод излучения в интегрально-оптические схемы.
4. Пассивные волноводные компоненты интегрально-оптических схем.
5. Компьютерная фотоника: принципы, проблемы и перспективы.
6. Типы оптических процессоров. Аналоговый оптический процессор.
7. Принцип действия оптического аналогового устройства, реализующего умножение вектора на матрицу.
8. Первое и второе поколения оптических цифровых процессоров.
9. Оптический процессор Enlight256.
10. Оптические бистабильные устройства и логические элементы.
11. Фотонно-кристаллические волноводы.
12. Микроструктурные и фотонно-кристаллические волокна.

Текущий и рубежный контроль осуществляются по контрольным вопросам по изучаемой дисциплине, по итогам выполнения лабораторных работ и индивидуальных практических заданий, в форме тестовых заданий или в виде подготовленного реферата.

#### **4.2. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

**4.2.1 Вопросы, выносимые на зачет по дисциплине «Волоконная и интегральная оптика» для программы 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), профиль: 01.04.05 «Оптика»**

В процессе подготовки и сдачи зачета формируются и оцениваются все требуемые ФГОС ВО и ООП по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), профиль: 01.04.05 «Оптика» компетенции: УК-5, ОПК-1, ПК-1.

1. Классификация и общие свойства оптических волноводов. ТЕ- и ТМ-моды в асим-

метричном планарном оптическом волноводе.

2. Связь между понятиями луча и моды. Лучевое и модовое описание. Геометрическая оптика плоских волноводов.

3. Эффективный показатель преломления волноводных мод, эффективная глубина градиентного волновода, поляризация мод.

4. Волноводные моды планарных градиентных диэлектрические волноводы. Нормированные переменные.

5. Волноводные моды канальных градиентных волноводов. Метод эффективного показателя преломления.

6. Двумерные волноводы. Методы расчета.

7. Канальные волноводы с одномерной и двумерной диффузией.

8. Оптическая связь в волноводах (устройства ввода, связанные волноводы, периодические волноводы).

9. Металлические волноводы с размерами меньше длины волны (плазмоника).

10. Пассивные и активные компоненты интегрально-оптических схем.

11. Ввод-вывод излучения в интегрально-оптические схемы.

12. Интегрально-оптические устройства и оптические интегральные схемы для систем передачи и обработки информации.

13. Физические основы распространения излучения в оптических волноводах и оптическом волокне.

14. Многомодовые и одномодовые оптические волокна. Ступенчатые и градиентные волокна. Числовая апертура.

15. Волноводные моды и их характеристики в оптическом волокне со ступенчатым профилем.

16. Волноводные моды и их характеристики в оптическом волокне с градиентным профилем.

17. Информационная емкость оптического волокна. Виды дисперсии.

18. Затухание и дисперсия (коэффициент затухания, поглощение, рассеяние, примесные эффекты, модовая, материальная, волноводная, поляризационно-модовая, нелинейная дисперсия).

#### **4.2.2 Пример контрольной работы по дисциплине «Волоконная и интегральная оптика» для программы 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), профиль: 01.04.05 «Оптика»**

##### **Вариант 1.**

###### Задача 1.

Вычислите значения числовой апертуры NA и максимального угла ввода излучения в волокно  $\theta_{\max}$  для ступенчатого волокна с параметрами а)  $n_{\text{серд}} = 1,483$ ,  $n_{\text{об}} = 1,479$ ; б)  $n_{\text{серд}} = 1,483$ ,  $n_{\text{об}} = 1,460$ . Сделайте обобщающие выводы.

###### Задача 2.

Имеется ступенчатое волокно с показателем преломления сердцевины 1,46;  $\Delta = 0,27\%$ . Найти диаметр сердцевины волокна, в котором будет распространяться только одна мода на длине волны 1550 нм.

###### Задача 3.

Рассчитайте межмодовую дисперсию для ступенчатого волокна с параметрами а)  $n_{\text{серд}} = 1,483$ ,  $n_{\text{об}} = 1,479$ ; б)  $n_{\text{серд}} = 1,483$ ,  $n_{\text{об}} = 1,460$ . Ответ выразите в нс/км. Сделайте вывод: как изменяется величина межмодовой дисперсии при увеличении числовой апертуры.

##### **Вариант 2.**

### Задача 1.

Какова наибольшая толщина  $d$  планарного симметричного диэлектрического волновода с показателями преломления  $n_1 = 1,50$  и  $n_2 = 1,46$ , для которого существует только одна ТЕ-мода на длине волны  $\lambda_0 = 1,3$  мкм? Каково число мод, если при той же толщине слоя заменить длину волны на  $\lambda_0 = 0,85$  мкм?

### Задача 2.

Определите число мод, которое будет распространяться в градиентном волокне с диаметром сердцевины 50 мкм и диаметром оболочки 125 мкм на длине волны 1310 нм. Показатель преломления сердцевины 1,490, показатель преломления оболочки 1,485.

### Задача 3.

Оценить расстояние  $L_0$ , при котором хроматическая и поляризационная модовая дисперсия сравниваются по величине, если коэффициент хроматической дисперсии  $D = 2$  пс/(нм $\cdot$ км), коэффициент поляризационной модовой дисперсии  $D_{\text{pmd}} = 0,5$  пс/км $^{1/2}$ , а ширина спектрального излучения  $\Delta\lambda = 0,05$  нм.

Оценочные средства для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья выбираются с учетом их индивидуальных психофизических особенностей.

– при необходимости инвалидам и лицам с ограниченными возможностями здоровья предоставляется дополнительное время для подготовки ответа на экзамене;

– при проведении процедуры оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья предусматривается использование технических средств, необходимых им в связи с их индивидуальными особенностями;

– при необходимости для обучающихся с ограниченными возможностями здоровья и инвалидов процедура оценивания результатов обучения по дисциплине может проводиться в несколько этапов.

Процедура оценивания результатов обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья по дисциплине (модулю) предусматривает предоставление информации в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями слуха:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Для лиц с нарушениями опорно-двигательного аппарата:

- в печатной форме,
- в форме электронного документа.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

## **5. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля)**

### **5.1. Основная литература:**

1. Материалы и технологии интегральной и волоконной оптики [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.И. Игнатъев [и др.]. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2009. – 78 с. – Режим доступа:

<https://e.lanbook.com/book/43662>

2. Панов М.Ф. Физические основы фотоники [Электронный ресурс] : учеб. пособие / М.Ф. Панов, А.В. Соломонов. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2017. – 564 с. – Режим доступа:

<https://e.lanbook.com/book/92656>

3. Прохоров В.П. Моделирование физико-технологических параметров оптических ионообменных волноводов / Прохоров В.П., Яковенко Н.А. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2014.

4. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения. В 2 т. Пер с англ. В.Л.Дербова. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект1», 2012.

5. Сидоров А.И. Основы фотоники: физические принципы и методы преобразования оптических сигналов в устройствах фотоники [Электронный ресурс]: учеб. пособие – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2014. – 148 с. – Режим доступа:

<https://e.lanbook.com/book/70977>

## **5.2 Дополнительная литература:**

1. Барыбин А.А. Электродинамика волноведущих структур. Теория возбуждения и связи волн [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – Москва: Физматлит, 2007. – 512 с. – Режим доступа:

<https://e.lanbook.com/book/2106>

2. Игнатов, А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника: учеб. пособие [Электронный ресурс] – Электрон. дан. – СПб: Лань, 2017. – 596 с. – Режим доступа:

<https://e.lanbook.com/book/95150>

3. Ларкин А.И., Юу Ф.Т.С. Когерентная фотоника. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009.

4. Оптоэлектроника. Ч. 1: Физические основы полупроводниковой оптоэлектроники. Когерентная оптоэлектроника / О.Н. Ермаков, А.Н. Пихтин, Ю.Ю. Протасов, С.А. Тарасов; под общ. ред. И.Б. Федорова. – М.: Янус-К, 2010.

5. Оптоэлектроника. Ч. 2: Оптроника / О.Н. Ермаков, А.Н. Пихтин, Ю.Ю. Протасов, С.А. Тарасов; под общ. ред. И.Б. Федорова. – М.: Янус-К, 2011.

6. Панов М.Ф. Физические основы интегральной оптики. – М.: Академия, 2010.

7. Сидоров А.И. Материалы и технологии интегральной оптики. Учебное пособие, курс лекций [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.И. Сидоров, Н.В. Никоноров. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2009. – 107 с. – Режим доступа:

<https://e.lanbook.com/book/43788>

8. Сидоров А.И. Материалы и технологии волоконной оптики: оптическое волокно для систем передачи информации [Электронный ресурс] / А.И. Сидоров, Н.В. Никоноров. – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2009. – 95 с. – Режим доступа:

<https://e.lanbook.com/book/40804>

## **5.3. Периодические издания:**

Автометрия

Вестник связи

Вопросы радиоэлектроники

Журнал технической физики

Журнал экспериментальной и теоретической физики

Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Технические науки

Известия высших учебных заведений. Радиофизика

Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника

Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки

Известия высших учебных заведений. Электроника

Известия российской академии наук. Серия физическая

Инженерно-физический журнал

Информационные технологии

Информационные технологии в проектировании и производстве  
Информационные технологии и вычислительные системы  
Квантовая электроника  
Компьютерная оптика  
Краткие сообщения по физике ФИАН  
Микроэлектроника  
Нано- и микросистемная техника  
Нанотехника  
Нанотехнологии и наноматериалы  
Оптика и спектроскопия  
Оптический журнал  
Письма в «Журнал технической физики»  
Письма в журнал экспериментальной и теоретической физики  
Радиотехника  
Радиотехника и электроника  
Инженерная физика  
Сети и системы связи  
Технологии и средства связи  
Труды ин-та инж. по электрон. и радиоэлектронике (ТИИЭР)  
Фотоника  
Фотон-экспресс  
Электромагнитные волны и электронные системы  
Сводный реферативный журнал «Связь»  
РЖ «Радиотехника»  
РЖ «Электроника»  
РЖ «Физика»  
Журнал технической физики  
Зарубежная радиоэлектроника  
Телекоммуникации  
Успехи современной радиоэлектроники  
Успехи физических наук – ежемесячный журнал. Электронная версия журнала: аннотации, статьи в формате pdf  
Физика волновых процессов и радиотехнические системы  
Физика и химия стекла  
Электроника

## **6. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

1. Электронная библиотека ЮРАЙТ: [www.biblio-online.ru](http://www.biblio-online.ru)
2. Электронно-библиотечная система ЛАНЬ: <https://e.lanbook.com>
3. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам»: <http://window.edu.ru/window>
4. Библиотека электронных учебников: <http://www.book-ua.org/>
5. Аннотированный тематический каталог Интернет ресурсов по физике: <http://www.college.ru/>
6. Федеральный образовательный портал: [http://www.edu.ru/db/portal/sites/res\\_page.htm](http://www.edu.ru/db/portal/sites/res_page.htm)
7. Каталог научных ресурсов: <http://www.scintific.narod.ru/literature.htm>
8. Большая научная библиотека:

<http://www.sci-lib.com/>

9. Естественно-научный образовательный портал:

<http://www.en.edu.ru/catalogue/>

10. Учебно-образовательная физико-математическая библиотека сайта EqWorld:

<http://eqworld.ipmnet.ru/ru/library/physics/>

11. Техническая библиотека:

<http://techlibrary.ru/>

12. Encyclopedia of Fibre Optics (Энциклопедия волоконной оптики)

<http://www.its.bldrdoc.gov/fs-1037/dir-025/3720.htm>

13. Введение в технику волоконно-оптических сетей

<http://www.citforum.ru/nets/optic/optic1.shtml>

14. Оптоволоконная технология

<http://astu.secna.ru/russian/students/personal/41nav/index.html>

15. Оптическая линия связи

<http://www.jinr.ru/~jinrmag/win/2000/5/optic5.htm>

16. Квантовая оптика и нанооптика:

[http://esonn.fr/0oldweb/esonn2010/xlectures/ESONN2010\\_NanoOptics\\_Lecture\\_BARTH.p](http://esonn.fr/0oldweb/esonn2010/xlectures/ESONN2010_NanoOptics_Lecture_BARTH.pdf)

[df](#)

## **7. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

На самостоятельную работу аспирантов, согласно требованиям ФГОС ВО по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия» (уровень подготовки кадров высшей квалификации), профиль: 01.04.05 «Оптика», отводится 50% времени от общей трудоемкости дисциплины. Сопровождение самостоятельной работы аспирантов может быть организовано в следующих формах:

- составлением индивидуальных планов самостоятельной работы каждого из аспирантов с указанием темы и видов занятий, форм и сроков представления результатов;
- проведением консультаций (индивидуальных или групповых), в том числе с применением дистанционной среды обучения.

Критерий оценки эффективности самостоятельной работы аспирантов формируется в ходе промежуточного контроля процесса выполнения заданий и осуществляется на основе различных способов взаимодействия в открытой информационной среде и отражается в процессе формирования так называемого «электронного портфеля аспиранта».

В соответствии с этим при проведении оперативного контроля могут использоваться контрольные вопросы как к выполняемым работам лабораторного практикума, так и к соответствующим разделам основной дисциплины «Волоконная и интегральная оптика».

Контроль осуществляется посредством тестирования аспирантов по окончании изучения тем учебной дисциплины и выполнения письменных контрольных работ.

По итогам выполнения каждой лабораторной работы аспирант составляет подробный письменный отчет, опираясь на который должен в беседе с преподавателем продемонстрировать знание теоретического и экспериментального материала, относящегося к работе. Проверка знаний аспиранта основана на контрольных вопросах, приведенных в описании работы и дополнительных вопросах, касающихся соответствующих разделов основной дисциплины «Волоконная и интегральная оптика». После выполнения лабораторной работы аспирант предоставляет откорректированный в ходе защиты письменный отчет о ней.

Дополнительная форма контроля эффективности усвоения материала и приобретения практических навыков заключается в открытой интерактивной защите работы на устном выступлении перед аудиторией сокурсников. В этом случае защита проходит в режиме краткого доклада на конференции.

Сопровождение самостоятельной работы аспирантов также организовано в следующих формах:



- выполнение семестровой контрольной работы по индивидуальным вариантам;
- усвоение, дополнение и вникание в разбираемые разделы дисциплины при помощи знаний получаемых по средствам изучения рекомендуемой литературы и осуществляемое путем написания реферативных работ;

- консультации, организованные для разьяснения проблемных моментов при самостоятельном изучении тех или иных аспектов разделов усваиваемой информации в дисциплине.

К средствам обеспечения освоения дисциплины «Волоконная и интегральная оптика» также относится электронный вариант учебного пособия по ядерной физике, включающий в себя:

- лекционный курс дисциплины «Волоконная и интегральная оптика»;
- контрольные вопросы по каждому разделу учебной дисциплины;
- список задач по каждому разделу учебной дисциплины.

К средствам обеспечения освоения дисциплины «Волоконная и интегральная оптика» также относятся электронные варианты дополнительных учебных, научно-популярных и научных изданий по данной дисциплине.

Рекомендуется следующий график и календарный план самостоятельной работы аспирантов по учебным неделям (9 недель):

#### Типовые задания для самостоятельной работы аспирантов

№ темы	Тема или задание текущей работы	Кол-во часов	Форма представления результатов	Сроки выполнения (недели)
1	Волноводные моды планарных градиентных диэлектрические волноводы. Нормированные переменные.	6	Устный ответ. Текстовый документ. Реферат. Выполнение практических заданий, тестов и контрольных работ.	1
2	Волноводные моды канальных градиентных волноводов. Метод эффективного показателя преломления.	6	Устный ответ. Текстовый документ. Реферат. Выполнение практических заданий, тестов и контрольных работ.	1
3	Двумерные волноводы. Методы расчета. Канальные волноводы с одномерной и двумерной диффузией.	6	Устный ответ. Текстовый документ. Реферат. Выполнение практических заданий, тестов и контрольных работ.	1
4	Фотонно-кристаллические волноводы.	6	Устный ответ. Текстовый до-	1