

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Физико-технический факультет

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе,  
качеству образования – первый  
проректор

подпись

« 31 » мая 2024 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

***Б1.В.05 РАДИООПТИКА И ФОТОНИКА***

*(код и наименование дисциплины в соответствии с учебным планом)*

Направление подготовки/специальность

11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

*(код и наименование направления подготовки/специальности)*

Направленность (профиль) / специализация

Интегральная электроника, фотоника и нанoeлектроника

*(наименование направленности (профиля) / специализации)*

Форма обучения очная

*(очная, очно-заочная, заочная)*

Квалификация бакалавр

Краснодар 2024

Рабочая программа дисциплины Б1.В.05 «Радиооптика и фотоника» составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО) по направлению подготовки 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника»

---

код и наименование направления подготовки

Программу составил(и):

В.П. Прохоров, канд. физ.-мат. наук,  
доцент кафедры оптоэлектроники



подпись

Рабочая программа дисциплины Б1.В.05 «Радиооптика и фотоника» утверждена на заседании кафедры оптоэлектроники ФТФ, протокол № 9 от 12 апреля 2024 г.


Заведующий кафедрой оптоэлектроники  
д-р техн. наук, профессор Н.А. Яковенко



подпись

Утверждена на заседании учебно-методической комиссии физико-технического факультета, протокол № 5 от 18 апреля 2024 г.

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



подпись

Рецензенты:

Шевченко А.В., канд. физ.-мат. наук, ведущий специалист ООО «Южная аналитическая компания»

Исаев В.А., д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры теоретической физики и компьютерных технологий ФГБОУ ВО «КубГУ»

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

### **1.1 Цель освоения дисциплины**

Радиооптика и фотоника – это наиболее динамично развивающееся направление фотоники, определяющее прогресс мировой науки и техники, связанный с исследованием, разработкой, созданием и эксплуатацией новых материалов, технологий, приборов и устройств, направленных на передачу, прием, обработку, хранение и отображение информации на основе оптических технологий. Радиооптика и фотоника ориентирована на интеграцию оптических, информационных и телекоммуникационных технологий.

Основная цель преподавания дисциплины – получение студентами необходимых знаний по физическим и теоретическим основам функционирования оптических систем передачи и обработки оптических сигналов и принципам моделирования и построения оптических систем связи и обработки информации с использованием современных оптических технологий.

### **1.2 Задачи дисциплины**

Задачами освоения дисциплины «Радиооптика и фотоника» являются:

– изучение современных типов оптических устройств и современных оптических методов обработки и передачи информации;

– ознакомление студентов с основными характеристиками типовых оптических устройств обработки информации, оптических систем связи и телекоммуникационных систем;

– выработка практических навыков аналитического и численного анализа процесса распространения оптического излучения в оптических устройствах обработки и передачи информации, а также расчета характеристик этих устройств;

– выработка у студентов навыков научно-исследовательской работы с демонстрацией широких возможностей использования волноводной фотоники в различных научных направлениях;

– обучение студентов принципам и приемам самостоятельных расчетов характеристик элементной базы волноводной фотоники, интегрально-оптических и волоконно-оптических структур;

– освоение студентами физических принципов и математических моделей волноводной фотоники;

– выработка практических навыков аналитического и численного анализа процесса распространения оптического излучения в элементной базе волноводной фотоники, а также расчета основных характеристик этих устройств.

В результате изучения настоящей дисциплины студенты должны получить базовые теоретические знания и практические навыки, позволяющие проводить моделирование систем связи и обработки информации с использованием современных оптических технологий, а также проводить моделирование и расчет элементной базы волноводной фотоники.

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

Дисциплина Б1.В.05 «Радиооптика и фотоника» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана. В соответствии с рабочим учебным планом дисциплина изучается на 3 курсе по очной форме обучения. Вид промежуточной аттестации: зачет.

Дисциплина логически и содержательно-методически связана с дисциплинами обязательной части Блока 1 «Математический анализ», «Физика», «Общий физический практикум» и дисциплин вариативной части Блока 1. Кроме того, дисциплина базируется на успешном усвоении сопутствующих дисциплин: «Физика полупроводников», «Электродинамика и распространение радиоволн», «Квантовая механика», «Теория

вероятности и математическая статистика», «Электроника». Для освоения данной дисциплины необходимо владеть методами математического анализа, аналитической геометрии, линейной алгебры, решением алгебраических и дифференциальных 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 студенты должны получить знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и обеспечивающие базовую подготовку для усвоения дисциплин обязательной и вариативной частей Блока 1, обеспечивая согласованность и преемственность с этими дисциплинами при переходе к оптическим и цифровым технологиям.

#### 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:

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
<p><b>Тип задач проф. деятельности: производственно-технологический</b>  <b>ПК-5 Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники</b></p>	
<p>ИПК-5.1 Знает принципы учета видов и объемов производственных работ  ИПК-5.2 Способен осуществлять регламентное обслуживание оборудования  ИПК-5.3 Способен настраивать высокотехнологичное оборудование в соответствии с правилами настройки и эксплуатации</p>	<p>В результате обучения по дисциплины обучающиеся должны знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– теоретические основы оптической обработки информации; принципы построения и работы, методы проектирования и расчета, а также характеристики основных функциональных узлов современных оптических систем обработки информации;</li> <li>– математический аппарат, типовые программные продукты, ориентированные на решение научных и прикладных задач радиооптики и фотоники;</li> <li>– физические основы распространения излучения по интегрально-оптическим волноводам и оптическому волокну.</li> </ul> <p>В результате обучения по дисциплины обучающиеся должны уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять полученные знания для определения и обоснования целесообразности использования оптических методов обработки информации для решения конкретных задач;</li> <li>– применять полученные знания для выбора наиболее приемлемого алгоритма обработки и реализующей его схемы;</li> <li>– применять на практике современные принципы и методы проектирования и расчета оптико-информационной техники;</li> <li>– решать практические задачи, связанные с проектированием и разработкой систем оптоэлектроники и интегральной оптики.</li> </ul> <p>В результате обучения по дисциплины обучающиеся должны владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами и навыками использования компьютерных систем проектирования и исследования оптической, телекоммуникационной и вычислительной техники, оптических материалов и технологий;</li> <li>– навыками применения полученных теоретических знаний для решения конкретных прикладных задач.</li> </ul>

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
<b>Тип задач проф. деятельности: монтажно-наладочный</b> <b>ПК-5 Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники</b>	
<p>ИПК-5.1. Формулировка соответствующего индикатора в учебном плане отсутствует</p> <p>ИПК-5.2. Формулировка соответствующего индикатора в учебном плане отсутствует</p> <p>ИПК-5.3. Формулировка соответствующего индикатора в учебном плане отсутствует</p>	<p>В результате обучения по дисциплины обучающиеся должны знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– теоретические основы оптической обработки информации; принципы построения и работы, методы проектирования и расчета, а также характеристики основных функциональных узлов современных оптических систем обработки информации;</li> <li>– математический аппарат, типовые программные продукты, ориентированные на решение научных и прикладных задач радиооптики и фотоники;</li> <li>– физические основы распространения излучения по интегрально-оптическим волноводам и оптическому волокну.</li> </ul> <p>В результате обучения по дисциплины обучающиеся должны уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– применять полученные знания для определения и обоснования целесообразности использования оптических методов обработки информации для решения конкретных задач;</li> <li>– применять полученные знания для выбора наиболее приемлемого алгоритма обработки и реализующей его схемы;</li> <li>– применять на практике современные принципы и методы проектирования и расчета оптико-информационной техники;</li> <li>– решать практические задачи, связанные с проектированием и разработкой систем оптоэлектроники и интегральной оптики.</li> </ul> <p>В результате обучения по дисциплины обучающиеся должны владеть</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– методами и навыками использования компьютерных систем проектирования и исследования оптической, телекоммуникационной и вычислительной техники, оптических материалов и технологий;</li> <li>– навыками применения полученных теоретических знаний для решения конкретных прикладных задач.</li> </ul>

Результаты обучения по дисциплине достигаются в рамках осуществления всех видов контактной и самостоятельной работы обучающихся в соответствии с утвержденным учебным планом.

Индикаторы достижения компетенций считаются сформированными при достижении соответствующих им результатов обучения.

## 2. Структура и содержание дисциплины

### 2.1 Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы (108 часов), их распределение по видам работ представлено в таблице

Виды работ	Всего часов	Форма обучения			
		очная		очно-заочная	заочная
		6 семестр (часы)			
<b>Контактная работа, в том числе:</b>					

<b>Аудиторные занятия (всего):</b>	<b>48,2</b>	<b>48,2</b>			
занятия лекционного типа	14	14			
лабораторные занятия	28	28			
практические занятия	–	–			
семинарские занятия	–	–			
Указываются виды работ в соответствии с учебным планом	–	–			
<b>Иная контактная работа:</b>	<b>–</b>	<b>–</b>			
Контроль самостоятельной работы (КСР)	6	6			
Промежуточная аттестация (ИКР)	0,2	0,2			
<b>Самостоятельная работа, в том числе:</b>					
Курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)	–	–			
Контрольная работа	–	–			
Расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)	–	–			
Реферат/эссе (подготовка)	–	–			
Самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам и т.д.)	59,8	59,8			
Подготовка к текущему контролю	–	–			
<b>Контроль:</b>	<b>–</b>	<b>–</b>			
Подготовка к экзамену	–	–			
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>час.</b>	<b>108</b>	<b>108</b>		
	<b>в том числе контактная работа</b>	<b>48,2</b>	<b>48,2</b>		
	<b>зач. ед</b>	<b>3</b>	<b>3</b>		

## 2.2 Содержание дисциплины

Распределение видов учебной работы и их трудоемкости по разделам дисциплины. Разделы (темы) дисциплины, изучаемые в 6 семестре (очная форма обучения)

№	Наименование разделов (тем)	Количество часов				
		Всего	Аудиторная работа			Внеаудиторная работа СРС
			Л	ПЗ	ЛР	
1	Физические и математические основы оптической обработки информации	2	2	–	–	8
2	Функциональная и структурная организация когерентных аналоговых оптических процессоров	4	4	–	–	11
3	Элементная база волноводной фотоники. Интегрально-оптические волноводы	22	4	–	18	20,4
4	Элементная база волноводной фотоники. Оптические волокна	14	4	–	10	20,4
	<i>ИТОГО по разделам дисциплины</i>	42	14	–	28	59,8
	Контроль самостоятельной работы (КСР)	6	–	–	6	–
	Промежуточная аттестация (ИКР)	0,2	–	–	–	–
	Подготовка к текущему контролю	59,8	–	–	–	–
	Общая трудоемкость по дисциплине	108	–	–	–	–

Примечание: Л – лекции, ПЗ – практические занятия / семинары, ЛР – лабораторные занятия, СРС – самостоятельная работа студента

## 2.3 Содержание разделов (тем) дисциплины

### 2.3.1 Занятия лекционного типа

№	Наименование раздела (темы)	Содержание раздела (темы)	Форма текущего контроля
1	Физические и математические основы оптической обработки информации	Радиооптический подход и радиооптические устройства. Двумерный анализ Фурье для описания преобразований пространственных сигналов. Оптический сигнал. Двумерное преобразование Фурье и его свойства. Обобщенная $\delta$ -функция Дирака. Формула Рэлея. Теорема свертки. Взаимная корреляция и автокорреляция. Преобразование Фурье–Бесселя. Типовые функции и их спектры. Анализ двумерных линейных систем. Линейные и пространственно-инвариантные радиооптические системы. Импульсный отклик и передаточная функция линейной и пространственно-инвариантной радиооптической системы. Дискретизация пространственного сигнала. Теорема выборки Котельникова–Шеннона. Электродинамические основы скалярной теории дифракции. Уравнение Гельмгольца. Теорема Грина. Интегральное представление Кирхгофа. Дифракция на плоском экране с отверстием. Дифракционная формула Кирхгофа–Зоммерфельда. Приближения Френеля и Фраунгофера.	ответы на контрольные вопросы; выполнение практических заданий; тестирование; реферат
2	Функциональная и структурная организация когерентных аналоговых оптических процессоров	Оптические преобразования и оптические системы. Импульсный отклик и передаточная функция слоя свободного пространства. Частотный анализ оптических систем. Линза как фазовый модулятор, выполняющий фазовое преобразование. Фокусирующие свойства линзы. Основные элементы оптических систем. Обобщенная функция Френеля. Эквивалентная схема оптической системы. Простейшая оптическая система. Оптический каскад. Условия формирования изображения и получения фурье-образа. Оптические схемы с управляемым масштабом Фурье-преобразования. Синтез оптических систем. Многокаскадная оптическая система. Пространственная инвариантность оптического линейного фильтра. Физические основы голографии. Методы голографии в задачах обработки информации.	ответы на контрольные вопросы; выполнение практических заданий; тестирование; реферат
3	Элементная база волноводной фотоники. Интегрально-оптические волноводы	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
4	Элементная база волноводной фотоники. Оптические волокна	Физические основы распространения излучения в оптических волноводах и оптическом волокне. Многомодовые и одномодовые, ступенчатые и	ответы на контрольные вопросы;

		градиентные оптические волокна. Числовая апертура. Информационная емкость оптического волокна. Виды дисперсии. Энергетические потери в оптических волокнах.	выполнение практических заданий; тестирование; реферат
--	--	---	--

### 2.3.2 Занятия семинарского типа (практические / семинарские занятия)

Согласно учебному плану занятия семинарского типа (практические / семинарские занятия) по данной дисциплине не предусмотрены.

№	Наименование раздела (темы)	Тематика занятий/работ	Форма текущего контроля
1	Физические и математические основы оптической обработки информации	Двумерный анализ Фурье для описания преобразований пространственных сигналов. Оптический сигнал. Двумерное преобразование Фурье и его свойства. Теорема свертки. Преобразование Фурье–Бесселя. Типовые функции и их спектры. Линейные и пространственно-инвариантные радиооптические системы. Импульсный отклик и передаточная функция линейной и пространственно-инвариантной радиооптической системы. Дискретизация пространственного сигнала. Теорема выборки Котельникова–Шеннона.	решение задач; ответы на контрольные вопросы; выполнение практических заданий
2	Функциональная и структурная организация когерентных аналоговых оптических процессоров	Оптические преобразования и оптические системы. Импульсный отклик и передаточная функция слоя свободного пространства. Частотный анализ оптических систем. Линза как фазовый модулятор, выполняющий фазовое преобразование. Фокусирующие свойства линзы. Основные элементы оптических систем. Обобщенная функция Френеля. Эквивалентная схема оптической системы. Простейшая оптическая система. Оптический каскад. Условия формирования изображения и получения фурье-образа.	решение задач; ответы на контрольные вопросы; выполнение практических заданий
3	Элементная база волноводной фотоники. Интегрально-оптические волноводы	Эффективный показатель преломления волноводных мод, эффективная глубина градиентного волновода, поляризация мод. Волноводные моды планарных и канальных градиентных волноводов. Нормированные переменные. Метод эффективного показателя преломления.	решение задач; ответы на контрольные вопросы; выполнение практических заданий
4	Элементная база волноводной фотоники. Оптические волокна	Распространение излучения в оптическом волокне. Многомодовые и одномодовые, ступенчатые и градиентные оптические волокна. Числовая апертура. Виды дисперсии. Энергетические потери в оптических волокнах.	решение задач; ответы на контрольные вопросы; выполнение практических заданий

### 2.3.3. Лабораторные занятия

№	Наименование раздела (темы)	Наименование лабораторных работ	Форма текущего контроля
1	Элементная база волноводной фотоники. Интегрально-оптические волноводы	Численный расчет эффективных показателей преломления волноводных мод планарных волноводов с градиентным профилем показателя преломления	Отчет по лабораторной работе. Mathcad-программа численного расчета



2	Элементная база волноводной фотоники. Интегрально-оптические волноводы	Численный расчет эффективных показателей преломления волноводных мод канальных волноводов с одномерным градиентным профилем показателя преломления $n(x)$	Отчет по лабораторной работе. Mathcad-программа численного расчета
3	Элементная база волноводной фотоники. Оптические волокна	Программа численного расчета эффективного показателя преломления фундаментальной волноводной моды $LP_{01}$ одномодового оптического волокна со ступенчатым профилем и многомодового оптического волокна с градиентным профилем	Отчет по лабораторной работе. Mathcad-программа численного расчета

Защита лабораторной работы (ЛР), выполнение курсового проекта (КП), курсовой работы (КР), расчетно-графического задания (РГЗ), написание реферата (Р), эссе (Э), коллоквиум (К), тестирование (Т) и т.д.

При изучении дисциплины применяются электронное обучение, дистанционные образовательные технологии в соответствии с ФГОС ВО.

Лабораторные работы выполняются в компьютерном классе в рамках системы компьютерной математики MATHCAD с использованием встроенных в эту систему средств программирования и графической визуализации результатов численных расчетов.

### **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 завершенный 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 \*.xmcd) 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 \*.xmcd) 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)

№	Вид СРС	Перечень учебно-методического обеспечения дисциплины по выполнению самостоятельной работы
1	Проработка учебного (теоретического материала), подготовка к текущей и промежуточной аттестации (зачёту, тестам и вопросам)	1. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов, утвержденные кафедрой оптоэлектроники, протокол № 6 от «01» марта 2017 г. 2. Локшин Г.Р. Основы радиооптики: учеб. пособие – Долгопрудный: Интеллект, 2009. 3. Панов М.Ф. Физические основы интегральной оптики. – М.: Академия, 2010. 4. Панов, М.Ф. Физические основы фотоники: учеб. пособие [Электронный ресурс] / М.Ф. Панов, А.В. Соломонов. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2017. – 564 с. – Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/92656">https://e.lanbook.com/book/92656</a> 5. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения. Т. 1, 2. – Долгопрудный: Издательский дом Интеллект, 2012. 6. Прохоров В.П. Моделирование физико-технологических параметров оптических ионообменных волноводов / Прохоров В.П., Яковенко Н.А. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2014.
2	Подготовка к практическим занятиям	1. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов, утвержденные кафедрой оптоэлектроники, протокол № 6 от «01» марта 2017 г. 2. Локшин Г.Р. Основы радиооптики: учеб. пособие – Долгопрудный: Интеллект, 2009. 3. Панов М.Ф. Физические основы интегральной оптики. – М.: Академия, 2010. 4. Панов, М.Ф. Физические основы фотоники: учеб. пособие [Электронный ресурс] / М.Ф. Панов, А.В. Соломонов. – Электрон. дан. – СПб.: Лань, 2017. – 564 с. – Режим доступа: <a href="https://e.lanbook.com/book/92656">https://e.lanbook.com/book/92656</a> 5. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения. Т. 1, 2. – Долгопрудный: Издательский дом Интеллект, 2012. 6. Прохоров В.П. Моделирование физико-технологических параметров оптических ионообменных волноводов / Прохоров В.П., Яковенко Н.А. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2014.
3	Подготовка к выполнению лабораторных работ. Оформление технического отчёта по лабораторным работам.	1. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов, утвержденные кафедрой оптоэлектроники, протокол № 6 от «01» марта 2017 г. 2. Прохоров, В.П. Оптоинформатика: лабораторный практикум / В.П. Прохоров, Н.А. Яковенко. – Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2021.

Учебно-методические материалы для самостоятельной работы обучающихся из числа инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья (ОВЗ) предоставляются в формах, адаптированных к ограничениям их здоровья и восприятия информации:

Для лиц с нарушениями зрения:

- в печатной форме увеличенным шрифтом,
- в форме электронного документа,
- в форме аудиофайла,
- в печатной форме на языке Брайля.

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,
- в форме аудиофайла.

Данный перечень может быть конкретизирован в зависимости от контингента обучающихся.

### **3. Образовательные технологии, применяемые при освоении дисциплины (модуля)**

В ходе изучения дисциплины предусмотрено использование следующих образовательных технологий: лекции, практические занятия, лабораторный компьютерный практикум, разработка программ численного расчета основных характеристик, домашние задания, тестирование, защита лабораторных работ, консультации с преподавателем, самостоятельная работа студентов (изучение теоретического материала, подготовка к практическими занятиям, подготовка к лабораторным занятиям, выполнение домашних заданий, подготовка к тестированию, зачету или экзамену). проблемное обучение, модульная технология, самостоятельная работа студентов.

Для проведения части лекционных занятий используются мультимедийные средства воспроизведения активного содержания (занятия в интерактивной форме), позволяющего студенту воспринимать особенности изучаемой дисциплины, играющие решающую роль в понимании и восприятии, а также в формировании профессиональных компетенций. По ряду тем дисциплины лекции проходят в классическом стиле.

Компетентностный подход в рамках преподавания дисциплины реализуется в использовании интерактивных технологий и активных методов (проектных методик, мозгового штурма, разбора конкретных ситуаций, анализа педагогических задач, педагогического эксперимента, иных форм) в сочетании с внеаудиторной работой.

Информационные технологии, применяемые при изучении дисциплины: использование информационных ресурсов, доступных в информационно-телекоммуникационной сети Интернет.

По изучаемой дисциплине студентам предоставляется возможность пользоваться учебно-методическими материалами и рекомендациями, размещенными в электронной информационно-образовательной среде Модульного Динамического Обучения КубГУ.

Таким образом, **основными образовательными технологиями, используемыми в учебном процессе, являются:** интерактивная лекция с мультимедийной системой и активным вовлечением студентов в учебный процесс; обсуждение сложных и дискуссионных вопросов и проблем и с последующим разбором этих вопросов на практических занятиях; лабораторные занятия – работа студентов в малых группах в режимах взаимодействия «преподаватель – студент», «студент – преподаватель», «студент – студент». При проведении практических и лабораторных учебных занятий предусмотрено развитие у обучающихся навыков командной работы, межличностной коммуникации, принятия решений и лидерских качеств.

Адаптивные образовательные технологии, применяемые при изучении дисциплины – для лиц с ограниченными возможностями здоровья предусмотрена организация консультаций с использованием электронной почты.

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

Оценочные средства предназначены для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу учебной дисциплины «Радиооптика и фотоника».

Оценочные средства включают контрольные материалы для проведения **текущего контроля** в форме ответов на контрольные вопросы, выполнения практических и тестовых заданий, подготовке докладов-презентаций по темам рефератов и **промежуточной аттестации** в форме вопросов для подготовки к зачету и решения задач.

### Структура оценочных средств для текущей и промежуточной аттестации

№ п/п	Код и наименование индикатора (в соответствии с п. 1.4)	Результаты обучения (в соответствии с п. 1.4)	Наименование оценочного средства	
			Текущий контроль	Промежуточная аттестация
1	<p>Тип задач проф. деятельности: производственно-технологический</p> <p>ПК-5 Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники</p> <p>ИПК-5.1 Знает принципы учета видов и объемов производственных работ</p> <p>ИПК-5.2 Способен осуществлять регламентное обслуживание оборудования</p> <p>ИПК-5.3 Способен настраивать высокотехнологичное оборудование в соответствии с правилами настройки и эксплуатации</p>	<p><b>знать:</b> теоретические основы оптической обработки информации; принципы построения и работы, методы проектирования и расчета, а также характеристики основных функциональных узлов современных оптических систем обработки информации; математический аппарат, типовые программные продукты, ориентированные на решение научных и прикладных задач радиооптики и фотоники; физические основы распространения излучения по интегрально-оптическим волноводам и оптическому волокну.</p> <p><b>уметь:</b> применять полученные знания для определения и обоснования целесообразности использования оптических методов обработки информации для решения конкретных задач; применять полученные знания для выбора наиболее приемлемого алгоритма обработки и реализующей его схемы; применять на практике современные принципы и методы проектирования и расчета оптико-информационной техники; решать практические задачи, связанные с проектированием и разработкой систем</p>	<p>Контрольная работа по теме, разделу</p> <p>Рабочая тетрадь</p> <p>Лабораторная работа</p> <p>Вопросы для устного (письменного) опроса по теме, разделу</p> <p>Реферат, доклад, сообщение, эссе</p> <p>Тест по теме, разделу</p>	<p>Вопросы на зачете 1–16</p>

		<p>оптоэлектроники и интегральной оптики.</p> <p><b>владеть:</b> методами и навыками использования компьютерных систем проектирования и исследования оптической, телекоммуникационной и вычислительной техники, оптических материалов и технологий; навыками применения полученных теоретических знаний для решения конкретных прикладных задач.</p>		
2	<p>Тип задач проф. деятельности: монтажно-наладочный</p> <p>ПК-5 Способен выполнять работы по технологической подготовке производства материалов и изделий электронной техники</p> <p>ИПК-5.1. Формулировка соответствующего индикатора в учебном плане отсутствует</p> <p>ИПК-5.2. Формулировка соответствующего индикатора в учебном плане отсутствует</p> <p>ИПК-5.3. Формулировка соответствующего индикатора в учебном плане отсутствует</p>	<p><b>знать:</b> теоретические основы оптической обработки информации; принципы построения и работы, методы проектирования и расчета, а также характеристики основных функциональных узлов современных оптических систем обработки информации; математический аппарат, типовые программные продукты, ориентированные на решение научных и прикладных задач радиооптики и фотоники; физические основы распространения излучения по интегрально-оптическим волноводам и оптическому волокну.</p> <p><b>уметь:</b> применять полученные знания для определения и обоснования целесообразности использования оптических методов обработки информации для решения конкретных задач; применять полученные знания для выбора наиболее приемлемого алгоритма обработки и реализующей его схемы; применять на практике современные принципы и методы проектирования и расчета оптико-</p>	<p>Контрольная работа по теме, разделу Рабочая тетрадь Лабораторная работа Вопросы для устного (письменного) опроса по теме, разделу Реферат, доклад, сообщение, эссе Тест по теме, разделу</p>	<p>Вопросы на зачете 17–40</p>

		<p>информационной техники; решать практические задачи, связанные с проектированием и разработкой систем оптоэлектроники и интегральной оптики.</p> <p><b>владеть:</b> методами и навыками использования компьютерных систем проектирования и исследования оптической, телекоммуникационной и вычислительной техники, оптических материалов и технологий; навыками применения полученных теоретических знаний для решения конкретных прикладных задач.</p>		
--	--	---	--	--

**Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

#### **Перечень вопросов и заданий**

1. Контрольные вопросы по учебной программе.
2. Практические задания по учебной программе.
3. Контрольные работы по учебной программе.
4. Темы рефератов по учебной программе.
5. Тестовые задания по учебной программе.
6. Зачетно-экзаменационные материалы для промежуточной аттестации (зачет)

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

##### **Раздел 1.**

1. Ступенчатая функция (график и аналитическая запись).
2. Прямоугольная функция (график и аналитическая запись).
3. Треугольная функция (график и аналитическая запись).
4. Функция отсчетов (график и аналитическая запись).
5. Функция Гаусса (график и аналитическая запись).
6. Дельта-функция Дирака (определение и физический смысл).
7. Двумерное преобразование Фурье.
8. Теорема линейности.
9. Теорема подобия.
10. Теорема смещения (прямая и обратная).
12. Теорема свертки (прямая и обратная).
13. Свойство эрмитовости.
14. Теоремы кросс-корреляции и автокорреляции.
15. Теорема Парсеваля.
16. Теорема о преобразовании Фурье функции с разделяющимися переменными.
17. Уравнение монохроматической волны. Понятие волнового поля.
18. Уравнение Гельмгольца.

19. Два пути решения задачи о распространении монохроматической световой волны.
20. Принцип Гюйгенса–Френеля.
21. Пример использования принципа Гюйгенса–Френеля: вывод закона преломления.
22. Общая постановка задачи о дифракции. Граничные условия Кирхгофа.
23. Запись дифракционного интеграла в форме Френеля–Кирхгофа.
24. Запись дифракционного интеграла в форме Рэлея–Зоммерфельда.
25. Основные свойства оптического излучения и его преимущества перед другими спектральными диапазонами электромагнитного излучения для передачи информации.

## **Раздел 2.**

1. Понятия системы, системного оператора, воздействия и реакции (отклика).
2. Свойства линейности и пространственной инвариантности (изопланарности).
3. Описание линейной инвариантной системы в частотной области.
4. Описание линейной инвариантной системы в пространственной области.
5. Угловой спектр плоских волн и его физический смысл.
6. Распространение углового спектра.
7. Влияние ограничивающего отверстия на угловой спектр возмущения.
8. Линейный пространственный фильтр, эквивалентный распространению волн.
9. Импульсный отклик свободного пространства.
10. Элементарная оптическая система: спектральный подход; полевой подход.
11. Модуляционная характеристика линзы.
12. Поле в оптически сопряженной плоскости, функция рассеяния точки.
13. Структура оптического изображения: спектральный подход; полевой подход.
14. В чем заключаются преимущества использования голографической памяти?
15. Основные свойства оптического излучения и его преимущества перед другими спектральными диапазонами электромагнитного излучения для передачи информации.
16. Каковы перспективы создания оптического компьютера?
17. В каких областях информатики используется операция умножения вектора на матрицу? Чем обусловлено ее широкое применение?
18. Оптические схемы с управляемым масштабом Фурье-преобразования.
19. В каких областях информатики используется операция умножения вектора на матрицу? Чем обусловлено ее широкое применение?

## **Раздел 3.**

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.

13. TE- и ТМ-моды в асимметричном планарном оптическом волноводе.
14. Эффективный показатель преломления волноводных мод.
15. Эффективная глубина оптического волновода с градиентным профилем показателя преломления.
16. Поляризация волноводных мод.
17. Волноводные моды планарных градиентных волноводов.
18. Волноводные моды канальных градиентных волноводов.
19. Нормированные переменные.
20. Метод эффективного показателя преломления.
21. Пассивные и активные компоненты интегрально-оптических схем.
22. Ввод-вывод излучения в интегрально-оптические схемы.
23. Интегрально-оптические устройства и оптические интегральные схемы для систем передачи и обработки информации.

#### Раздел 4.

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

## Практические задания по учебной программе

### Раздел 3.

1. Покажите, что одна плоская ТЕМ-волна  $E_x(y, z) = A \cdot \exp(-ik_y y) \cdot \exp(-i\beta z)$  не может удовлетворить граничным условиям  $E_x(\pm d/2, z) = 0$  при любом  $z$  в зеркальном волноводе. Покажите, что сумма двух плоских ТЕМ-волн, записанная в виде

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

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

2. 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?

3. 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  $n_2 = 1,4$ .

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  $m = 0$ .

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

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

Чтобы удовлетворить уравнению Гельмгольца, необходимо выполнение условий  $k_y^2 + \beta^2 = k_0^2 n_1^2$  и  $\beta^2 - \gamma^2 = k_0^2 n_2^2$ .

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  $k_{ym}$  и проверьте выполнение условия самосогласования.

6. Какова наибольшая толщина  $d$  планарного симметричного 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?

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

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

где  $\Delta n = n_1 - n_2$ .

### Раздел 4.

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  $P = (NA)^2 P_0$ , так что коэффициент передачи составляет  $(NA)^2$ , где 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  $n_s = 3,5$ .

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 ( $p = 2$ ).

4. Волокно со ступенчатым профилем показателя преломления имеет радиус  $a = 5$  мкм, показатель преломления сердцевин  $n_1 = 1,45$  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.

5. Волокно со ступенчатым профилем показателя преломления имеет числовую апертуру  $NA = 0,16$ , радиус сердцевин  $a = 45$  мкм и показатель преломления сердцевин  $n_1 = 1,45$ . На используемой длине волны  $\lambda_0 = 1,3$  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.

6. Ступенчатое волокно с показателями преломления  $n_1 = 1,444$  и  $n_2 = 1,443$  работает на длине волны  $\lambda_0 = 1,55$  мкм. Определите радиус сердцевин, при котором параметр волокна  $V$  равен 10. Оцените постоянные распространения всех направляемых мод с  $l = 0$ . Пусть теперь радиус сердцевин изменился так, что  $V = 4$ . Определите фазовую скорость, постоянную распространения и групповую скорость фундаментальной моды  $LP_{01}$ . Дисперсией материала пренебречь.

7. Волокно со ступенчатым профилем показателя преломления радиуса  $a = 20$  мкм с показателями преломления  $n_1 = 1,47$  и  $n_2 = 1,46$  работает на длине волны  $\lambda_0 = 1,55$  мкм. Применяя теорию квазиплоских волн и рассматривая только направляемые моды с азимутальным индексом  $l = 1$ :

а) определите наименьшую и наибольшую постоянные распространения;

б) для моды с наименьшей постоянной распространения определите внешний и внутренний радиусы цилиндрического слоя, в котором заключена волна, а также компоненты волнового вектора  $\mathbf{k}$  при  $r = 5$  мкм.

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

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 калориметрические измерения нагрева волокна из-за поглощения света дают потери 2 дБ/км. Найдите полный коэффициент затухания на  $\lambda_0 = 600$  нм.

10. Определите радиус сердцевин 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 сердцевин  $n_1 = 1,445$ , 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.

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  $\infty$ .

## Контрольные работы по учебной программе

### Вариант 1.

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.

2. 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.

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?

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.

### Вариант 3.

1. 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.

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

## Темы рефератов по учебной программе

1. Теорема Грина. Интегральное представление Кирхгофа–Зоммерфельда в скалярной теории дифракции.
2. Обобщенная функция Френеля. Эквивалентная схема оптической системы.
3. Многокаскадная оптическая система.
4. Голографические фильтры Ван-дер-Люгта.
5. Линейные радиооптические антенные решетки.
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. Перспективы развития систем оптической записи информации.
12. Модификация метода эффективного показателя преломления для двумерных градиентных волноводов.
14. Ввод-вывод излучения в интегрально-оптические схемы.
15. Пассивные волноводные компоненты интегрально-оптических схем.
16. Компьютерная фотоника: принципы, проблемы и перспективы.
17. Типы оптических процессоров. Аналоговый оптический процессор.
18. Первое и второе поколения оптических цифровых процессоров.
19. Оптический процессор Enlight256.

## 20. Оптические бистабильные устройства и логические элементы.

### Тестовые задания по учебной программе

Тестовые задания состоит из теоретических вопросов по тематическим разделам рабочей программы учебной дисциплины. Во всех вопросах каждого теста предполагается выбор одного из 4-х возможных ответов.

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%.

### Тест № 1. Интегрально-оптические волноводы

1. Какой параметр характеризует среду распространения электромагнитной волны:
  - а) длина волны;
  - б) показатель преломления;
  - в) напряженность электрического поля;
  - г) начальная фаза?
2. Какова скорость света в вакууме:
  - а) 340 м/с;
  - б)  $3 \cdot 10^8$  м/с;
  - в)  $3 \cdot 10^6$  м/с;
  - г)  $3 \cdot 10^9$  м/с?
3. Какова скорость распространения электромагнитной волны в световоде, имеющем показатель преломления  $n = 3$ :
  - а) 340 м/с;
  - б)  $3 \cdot 10^8$  м/с;
  - в)  $10^8$  м/с;
  - г)  $10^5$  м/с?
4. Каким должен быть показатель преломления сердцевинны оптического волокна  $n_c$ :
  - а)  $n_c = 1$ ;
  - б)  $n_c > n_{об}$ ;
  - в)  $n_c < n_{об}$ ;
  - г)  $n_c = n_{об}$ ?
5. Что называется модой оптического излучения:
  - а) электромагнитная волна;
  - б) частота излучения;
  - в) степень когерентности;
  - г) поляризация излучения?
6. Что называется числовой апертурой:
  - а) диаметр сердцевинны волокна;
  - б) диаметр оболочки волокна;
  - в) корень квадратный из суммы квадратов показателей преломления сердцевинны и оболочки;
  - г) корень квадратный из разности квадратов показателей преломления сердцевинны и оболочки?
7. Что характеризует числовая апертура оптического волокна:
  - а) эффективность ввода излучения в световод;
  - б) эффективность вывода излучения из световода;
  - в) диаметр сердцевинны оптического волокна;
  - г) диаметр оболочки оптического волокна?
8. Какого типа волокно обеспечивает максимальную широкополосность:

- а) одномодовое градиентное;
- б) многомодовое градиентное;
- в) многомодовое со ступенчатым изменением показателя преломления;
- г) одномодовое со ступенчатым изменением показателя преломления?

9. От чего зависит уширение импульсного оптического сигнала:

- а) от мощности вводимого в световод оптического сигнала;
- б) от значения цифровой апертуры;
- в) от типа оптического волокна;
- г) от диаметра оболочки оптического волокна?

10. Какие значения затухания на километр имеют современные оптические волокна для систем магистральной связи:

- а) около 10 дБ/км;
- б) около 5 дБ/км;
- в) около 2 дБ/км;
- г) около 0,5 дБ/км?

## **Тест № 2. 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 нижеперечисленного 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 вышеперечисленное.

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 вышеперечисленные.

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 вышеперечисленные.
10. Какое главное требование при вытяжке оптоволокна?
  - 1) Недопустимость образование микротрещин;
  - 2) Достаточная механическая прочность;
  - 3) Однородность диаметра волокна;
  - 4) Все перечисленные.

### **Зачетно-экзаменационные материалы для промежуточной аттестации (зачет)**

1. Оптический сигнал и его параметры. Интегральные преобразования сигналов в оптике.
2. Двумерное преобразование Фурье как разложение сигнала. Свойства преобразования Фурье. Пространственные частоты.
3. Свертка и кросс-корреляция сигналов. Соответствия операций и функций в координатной и частотной областях.
4. Линейные и пространственно-инвариантные оптические системы. Импульсный отклик и передаточная функция.
5. Сигналы с ограниченным спектром. Двумерная теория выборки. Теорема Котельникова–Шеннона.
6. Основы скалярной теории дифракции Кирхгофа–Зоммерфельда.
7. Дифракционная формула Кирхгофа–Зоммерфельда в приближении Френеля.
8. Дифракционная формула Кирхгофа–Зоммерфельда в приближении Фраунгофера.
9. Дифракционная формула Кирхгофа–Зоммерфельда в приближении тени.
10. Основные элементы когерентных оптических систем.
11. Свободное пространство как элемент оптической системы.
12. Сферическая линза как элемент оптической системы.
13. Простейшая оптическая система, реализующая преобразование Фурье.
14. Оптический каскад. Условия образования изображения.
15. Оптический каскад. Условия образования фурье-образа (спектра).
16. Синтез оптических систем. Многокаскадная оптическая система.
17. Классификация и общие свойства оптических волноводов. Лучевое и модовое описание. Поляризация волноводных мод в планарном ступенчатом волноводе.
18. Геометрическая оптика планарных ступенчатых волноводов. Волноводные моды и характеристическое уравнение для обычных и нормированных переменных.
19. Электромагнитная теория планарных ступенчатых волноводов. Поперечные электрические и магнитные волноводные моды.
20. Эффективный показатель преломления волноводных мод, эффективная глубина градиентного волновода, поляризация мод.
21. Волноводные моды планарных градиентных волноводов. Нормированные переменные.
22. Приближенные методы расчета планарных градиентных волноводов.

Нормированные кривые и условия одномодовости.

23. Приближенные методы расчета канальных градиентных волноводов. Метод эффективного показателя преломления.

24. Использование нормированных дисперсионных кривых для анализа свойств и выбора параметров канальных градиентных волноводов.

25. Канальные градиентные волноводы с одномерной и двумерной диффузией.

26. Пассивные и активные компоненты интегрально-оптических схем.

27. Элементная база интегрально-оптических схем. Методы расчета вносимых потерь в пассивных волноводных элементах.

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

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

30. Принцип направленной связи. Волноводные направленные ответвители мощности на основе канальных градиентных волноводов.

31. Разветвления трехмерных оптических волноводов. Двухканальные делители мощности на основе канальных градиентных волноводов.

32. Элементы изгиба канальных градиентных волноводов. Расчет излучательных потерь на волноводных изгибах.

33. Методы расчета вносимых потерь и эффективности передачи мощности в волноводных пересечениях X- и Y-типов.

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

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

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

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

38. Информационная емкость оптического волокна. Виды дисперсии.

39. Дисперсия в оптических волокнах (модовая, материальная, волноводная, поляризационно-модовая, нелинейная).

40. Затухание и энергетические потери в оптических волокнах.

## **Критерии оценивания результатов обучения**

### **Критерии оценивания по зачету:**

«зачтено»:

студент владеет теоретическими знаниями по данному разделу, допускает незначительные ошибки; студент умеет правильно объяснять материал, иллюстрируя его примерами, выполнил все лабораторные работы компьютерного практикума, представил разработанные программы численного расчета.

«не зачтено»:

материал не усвоен или усвоен частично, студент затрудняется привести примеры по соответствующему вопросу, довольно ограниченный объем знаний программного материала, не выполнены лабораторные работы компьютерного практикума, не представлены разработанные программы численного расчета.

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 учебной литературы, информационных ресурсов и технологий**

### **5.1. Учебная литература**

1. Дубнищев Ю.Н. Теория и преобразование сигналов в оптических системах [Электронный ресурс]: учеб. пособие – Электрон. дан. – Санкт-Петербург: Лань, 2011. – 368 с. – Режим доступа:

<https://e.lanbook.com/book/698#authors>

<https://e.lanbook.com/book/699>

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. Локшин Г.Р. Основы радиооптики: учеб. пособие – Долгопрудный: Интеллект, 2009.

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

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

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

6. Салех Б., Тейх М. Оптика и фотоника. Принципы и применения. Т. 1, 2. – Долгопрудный: Издательский дом Интеллект, 2012.

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

### **5.2. Периодическая литература**

Указываются печатные периодические издания из «Перечня печатных периодических изданий, хранящихся в фонде Научной библиотеки КубГУ»

<https://www.kubsu.ru/ru/node/15554>, и/или электронные периодические издания, с указанием адреса сайта электронной версии журнала, из баз данных, доступ к которым имеет КубГУ:

1. Базы данных компании «Ист Вью» <http://dlib.eastview.com>
2. Электронная библиотека GREBENNIKON.RU <https://grebennikon.ru/>

### **5.3. Интернет-ресурсы, в том числе современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы**

#### **Электронно-библиотечные системы (ЭБС):**

1. ЭБС «ЮРАЙТ» <https://urait.ru/>
2. ЭБС «УНИВЕРСИТЕТСКАЯ БИБЛИОТЕКА ОНЛАЙН» [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)
3. ЭБС «BOOK.ru» <https://www.book.ru>
4. ЭБС «ZNANIUM.COM» [www.znanium.com](http://www.znanium.com)
5. ЭБС «ЛАНЬ» <https://e.lanbook.com>

#### **Профессиональные базы данных:**

1. Web of Science (WoS) <http://webofscience.com/>
2. Scopus <http://www.scopus.com/>
3. ScienceDirect [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
4. Журналы издательства Wiley <https://onlinelibrary.wiley.com/>
5. Научная электронная библиотека (НЭБ) <http://www.elibrary.ru/>
6. Полнотекстовые архивы ведущих западных научных журналов на Российской платформе научных журналов НЭИКОН <http://archive.neicon.ru>
7. Национальная электронная библиотека (доступ к Электронной библиотеке диссертаций Российской государственной библиотеки (РГБ) <https://rusneb.ru/>
8. Президентская библиотека им. Б.Н. Ельцина <https://www.prilib.ru/>
9. Электронная коллекция Оксфордского Российского Фонда <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kubanstate/home.action>
10. Springer Journals <https://link.springer.com/>
11. Nature Journals <https://www.nature.com/siteindex/index.html>
12. Springer Nature Protocols and Methods <https://experiments.springernature.com/sources/springer-protocols>
13. Springer Materials <http://materials.springer.com/>
14. zbMath <https://zbmath.org/>
15. Nano Database <https://nano.nature.com/>
16. Springer eBooks <https://link.springer.com/>
17. «Лекториум ТВ» <http://www.lektorium.tv/>
18. Университетская информационная система РОССИЯ <http://uisrussia.msu.ru>

#### **Информационные справочные системы:**

1. Консультант Плюс – справочная правовая система (доступ по локальной сети с компьютеров библиотеки)

#### **Ресурсы свободного доступа:**

1. Американская патентная база данных <http://www.uspto.gov/patft/>
2. Полные тексты канадских диссертаций <http://www.nlc-bnc.ca/thesescanada/>
3. КиберЛенинка (<http://cyberleninka.ru/>);
4. Министерство науки и высшего образования Российской Федерации <https://www.minobrnauki.gov.ru/>;
5. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>;
6. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» <http://window.edu.ru/>;

7. Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов <http://school-collection.edu.ru/>;
8. Федеральный центр информационно-образовательных ресурсов (<http://fcior.edu.ru/>);
9. Проект Государственного института русского языка имени А.С. Пушкина «Образование на русском» <https://pushkininstitute.ru/>;
10. Справочно-информационный портал «Русский язык» <http://gramota.ru/>;
11. Служба тематических толковых словарей <http://www.glossary.ru/>;
12. Словари и энциклопедии <http://dic.academic.ru/>;
13. Образовательный портал «Учеба» <http://www.ucheba.com/>;
14. [Законопроект «Об образовании в Российской Федерации». Вопросы и ответы](http://xn--273--84d1f.xn--plai/voprosy_i_otvety) [http://xn--273--84d1f.xn--plai/voprosy\\_i\\_otvety](http://xn--273--84d1f.xn--plai/voprosy_i_otvety)

### **Собственные электронные образовательные и информационные ресурсы КубГУ:**

1. Среда модульного динамического обучения <http://moodle.kubsu.ru>
2. База учебных планов, учебно-методических комплексов, публикаций и конференций <http://mschool.kubsu.ru/>
3. Библиотека информационных ресурсов кафедры информационных образовательных технологий <http://mschool.kubsu.ru>;
4. Электронный архив документов КубГУ <http://docspace.kubsu.ru/>
5. Электронные образовательные ресурсы кафедры информационных систем и технологий в образовании КубГУ и научно-методического журнала "ШКОЛЬНЫЕ ГОДЫ" <http://icdau.kubsu.ru/>

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

Лекция является одной из форм изучения теоретического материала по дисциплине. В ходе лекционного курса проводится изложение современных научных подходов и теорий. В тетради для конспектирования лекций необходимо иметь поля, где по ходу конспектирования делаются необходимые пометки. Записи должны быть избирательными, полностью следует записывать только определения. В конспекте применяют сокращение слов, что ускоряет запись. Вопросы, возникающие в ходе лекции, рекомендуется записывать на полях и после окончания лекции обратиться за разъяснением к преподавателю. Необходимо активно работать с конспектом лекции: после окончания лекции рекомендуется перечитать свои записи, внести поправки и дополнения.

Одним из основных видов деятельности студента является самостоятельная работа, которая включает в себя изучение лекционного материала, учебников и учебных пособий, подготовки к выполнению лабораторных работ и оформлению технических отчётов по ним, а также подготовки к практическим занятиям изучением краткой теории в задачниках и решении домашних заданий.

Методика самостоятельной работы предварительно разъясняется преподавателем и в последующем может уточняться с учетом индивидуальных особенностей студентов. Время и место самостоятельной работы выбираются студентами по своему усмотрению. Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять равномерно на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Самостоятельную работу над дисциплиной следует начинать с изучения программы, которая содержит основные требования к знаниям, умениям и навыкам обучаемых. Обязательно следует вспомнить рекомендации преподавателя, данные в ходе установочных занятий. Затем следует приступать к изучению отдельных разделов и тем в порядке, предусмотренном программой.

Получив представление об основном содержании раздела, темы, необходимо изучить материал по теме, изложенный в учебнике. Целесообразно составить краткий конспект или схему, отображающую смысл и связи основных понятий данного раздела и включенных в него тем (или более продуктивно – дополнить конспект лекции). Обязательно следует записывать возникшие вопросы, на которые не удалось ответить самостоятельно.

Необходимо изучить список рекомендованной литературы и убедиться в её наличии в личном пользовании или в подразделениях библиотеки в бумажном или электронном виде. Всю основную учебную литературу желательно изучать с составлением конспекта. Чтение литературы, не сопровождаемое конспектированием, мало результативно. Цель написания конспекта по дисциплине – сформировать навыки по поиску, отбору, анализу и формулированию учебного материала. Эти навыки обязательны для любого специалиста с высшим образованием независимо от выбранного направления. Написание конспекта должно быть творческим – нужно не переписывать текст из источников, но пытаться кратко излагать своими словами содержание ответа, при этом максимально его структурируя и используя символы и условные обозначения (в этом Вам помогут вопросы, выносимые на зачет и тестирование). Копирование и заучивание неосмысленного текста трудоемко и по большому счету не имеет познавательной и практической ценности. При работе над конспектом обязательно выявляются и отмечаются трудные для самостоятельного изучения вопросы, с которыми уместно обратиться к преподавателю при посещении занятий и консультаций, либо в индивидуальном порядке. При чтении учебной и научной литературы необходимо всегда следить за точным и полным пониманием значения терминов и содержания понятий, используемых в тексте. Всегда следует уточнять значения по словарям или энциклопедиям, при необходимости записывать.

Сопровождение самостоятельной работы студентов может быть организовано в следующих формах:

- составлением индивидуальных планов самостоятельной работы каждого из студентов 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 студентов 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 студента».

В соответствии с этим при проведении оперативного контроля могут использоваться контрольные вопросы к соответствующим разделам основной дисциплины «Радиооптика и фотоника».

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

Сопровождение самостоятельной работы студентов 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 разъяснения проблемных моментов при самостоятельном изучении тех или иных аспектов разделов усваиваемой информации в дисциплине.

К средствам обеспечения освоения дисциплины «Радиооптика и фотоника» также относится электронный вариант учебного пособия по данной дисциплине, включающий в себя:

- лекционный курс дисциплины «Радиооптика и фотоника»;

- контрольные вопросы по каждому разделу учебной дисциплины;
- список задач по каждому разделу учебной дисциплины.

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

К лабораторным работам следует подготовиться предварительно, ознакомившись с краткой, но специфической теорией, размещенной в соответствующей методичке. Рекомендуется ознакомиться заранее и с методическими рекомендациями по проведению соответствующей лабораторной работы, и в случае необходимости провести предварительные расчёты.

В освоении дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья большое значение имеет индивидуальная учебная работа (консультации) – дополнительное разъяснение учебного материала.

Индивидуальные консультации по предмету являются важным фактором, способствующим индивидуализации обучения и установлению воспитательного контакта между преподавателем и обучающимся инвалидом или лицом с ограниченными возможностями здоровья.

## 7. Материально-техническое обеспечение по дисциплине (модулю)

Наименование специальных помещений	Оснащенность специальных помещений	Перечень лицензионного программного обеспечения
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа (ауд. <u>205с, 209с</u> )	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: Лекционная аудитория, оснащенная презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО), а также достаточным количеством посадочных мест: № 209с (проектор EPSON EB-1776W), № 205с (проектор SANYO PLC-SW20A).	1. Операционная система MS Windows (© Microsoft Corp.). 2. Интегрированное офисное приложение MS Office (© Microsoft Corporation). 3. Программное обеспечение для организации управляемого и безопасного доступа в Интернет. 4. Программное обеспечение для безопасной работы на компьютере – файловый антивирус, почтовый антивирус, веб-антивирус и сетевой экран. 5. Система компьютерной математики MATHCAD с необходимыми пакетами расширений (© Parametric Technology Corporation). 6. Система компьютерной математики MATLAB + SIMULINK с необходимыми тулбоксами (© The MathWorks).
Учебные аудитории для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (ауд. <u>205с, 206с, 207с, 209с</u> )	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: Аудитория оснащенная тремя меловыми или маркерными досками, презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО), а также достаточным количеством посадочных мест: № 209с (проектор EPSON EB-1776W), № 205с (проектор SANYO PLC-SW20A).	1. Операционная система MS Windows (© Microsoft Corp.). 2. Интегрированное офисное приложение MS Office (© Microsoft Corporation). 3. Программное обеспечение для организации управляемого и безопасного доступа в Интернет. 4. Программное обеспечение для безопасной работы на компьютере – файловый антивирус, почтовый антивирус, веб-антивирус и сетевой экран. 5. Система компьютерной математики MATHCAD с

		необходимыми пакетами расширений (© Parametric Technology Corporation). 6. Система компьютерной математики MATLAB + SIMULINK с необходимыми тулбоксами (© The MathWorks).
Учебные аудитории для проведения лабораторных работ. Лаборатория 205с	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: Лаборатория, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения и работы: презентационной техникой (проектор, экран, компьютер / ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО), а также достаточным количеством посадочных мест: № 205с (проектор SANYO PLC-SW20A).	1. Операционная система MS Windows (© Microsoft Corp.). 2. Интегрированное офисное приложение MS Office (© Microsoft Corporation). 3. Программное обеспечение для организации управляемого и безопасного доступа в Интернет. 4. Программное обеспечение для безопасной работы на компьютере – файловый антивирус, почтовый антивирус, веб-антивирус и сетевой экран. 5. Система компьютерной математики MATHCAD с необходимыми пакетами расширений (© Parametric Technology Corporation). 6. Система компьютерной математики MATLAB + SIMULINK с необходимыми тулбоксами (© The MathWorks).
Учебные аудитории для курсового проектирования (выполнения курсовых работ)	Мебель: учебная мебель Технические средства обучения: Лаборатория, укомплектованная специализированной мебелью и техническими средствами обучения и работы: презентационной техникой (проектор, экран, компьютер / ноутбук) и соответствующим программным обеспечением (ПО), а также достаточным количеством посадочных мест: № 205с (проектор SANYO PLC-SW20A).	1. Операционная система MS Windows (© Microsoft Corp.). 2. Интегрированное офисное приложение MS Office (© Microsoft Corporation). 3. Программное обеспечение для организации управляемого и безопасного доступа в Интернет. 4. Программное обеспечение для безопасной работы на компьютере – файловый антивирус, почтовый антивирус, веб-антивирус и сетевой экран. 5. Система компьютерной математики MATHCAD с необходимыми пакетами расширений (© Parametric Technology Corporation). 6. Система компьютерной математики MATLAB + SIMULINK с необходимыми тулбоксами (© The MathWorks).

Для самостоятельной работы обучающихся предусмотрены помещения, укомплектованные специализированной мебелью, оснащенные компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета.

Наименование помещений для самостоятельной работы обучающихся	Оснащенность помещений для самостоятельной работы обучающихся	Перечень лицензионного программного обеспечения
---	---	---

<p>Помещение для самостоятельной работы обучающихся (читальный зал Научной библиотеки)</p>	<p>Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Операционная система MS Windows (© Microsoft Corp.).</li> <li>2. Интегрированное офисное приложение MS Office (© Microsoft Corporation).</li> <li>3. Программное обеспечение для организации управляемого и безопасного доступа в Интернет.</li> <li>4. Программное обеспечение для безопасной работы на компьютере – файловый антивирус, почтовый антивирус, веб-антивирус и сетевой экран.</li> <li>5. Система компьютерной математики MATHCAD с необходимыми пакетами расширений (© Parametric Technology Corporation).</li> <li>6. Система компьютерной математики MATLAB + SIMULINK с необходимыми тулбоксами (© The MathWorks).</li> </ol>
<p>Помещение для самостоятельной работы обучающихся (ауд. <u>205C</u>)</p>	<p>Мебель: учебная мебель Комплект специализированной мебели: компьютерные столы Оборудование: компьютерная техника с подключением к информационно-коммуникационной сети «Интернет» и доступом в электронную информационно-образовательную среду образовательной организации, веб-камеры, коммуникационное оборудование, обеспечивающее доступ к сети интернет (проводное соединение и беспроводное соединение по технологии Wi-Fi)</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Операционная система MS Windows (© Microsoft Corp.).</li> <li>2. Интегрированное офисное приложение MS Office (© Microsoft Corporation).</li> <li>3. Программное обеспечение для организации управляемого и безопасного доступа в Интернет.</li> <li>4. Программное обеспечение для безопасной работы на компьютере – файловый антивирус, почтовый антивирус, веб-антивирус и сетевой экран.</li> <li>5. Система компьютерной математики MATHCAD с необходимыми пакетами расширений (© Parametric Technology Corporation).</li> <li>6. Система компьютерной математики MATLAB + SIMULINK с необходимыми тулбоксами (© The MathWorks).</li> </ol>