

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования



Документ подписан электронной подписью  
Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-ae0-5584d3fd4820  
Владелец: Троян Павел Ефимович  
Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019

П. Е. Троян

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ  
«Основы волоконной оптики»

Уровень основной образовательной программы \_\_\_\_\_ Бакалавриат \_\_\_\_\_

Направление подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

Профиль «Оптические системы и сети связи»

Форма обучения \_\_\_\_\_ заочная \_\_\_\_\_

Факультет \_\_\_\_\_ Радиотехнический \_\_\_\_\_

Кафедра \_\_\_\_\_ Сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники (СВЧиКР) \_\_\_\_\_

Курс \_\_\_\_\_ третий \_\_\_\_\_ Семестр \_\_\_\_\_ пятый, шестой \_\_\_\_\_

Учебный план набора 2012 года

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 1	Семестр 2	Семестр 3	Семестр 4	Семестр 5	Семестр 6	Семестр 7	Семестр 8	Всего	Единицы
1.	Лекции					6				6	часов
2.	Лабораторные работы					-	4			4	часов
3.	Практические занятия					2	2			4	часов
4.	Курсовой проект/работа (КРС) (аудиторная)					-	-			-	часов
5.	Всего аудиторных занятий (Сумма 1-4)					8	6			14	часов
6.	Из них в интерактивной форме					1	2			3	часов
7.	Самостоятельная работа студентов (СРС)					40	50			90	часов
8.	Всего (без экзамена) (Сумма 5,7)					48	56			104	часов
9.	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена						4				часов
10.	Общая трудоемкость (Сумма 8,9)					48	60			108	часов
	(в зачетных единицах)									3	ЗЕТ

Зачет \_\_\_\_\_ шестой \_\_\_\_\_ семестр

Томск 2017

### Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», утвержденного Приказом Минобрнауки России 06 марта 20145 г. регистрационный номер 174, рассмотрена и утверждена на заседании кафедры « » \_\_\_\_\_ 2016 г.,

протокол № \_\_\_\_\_

Разработчик Профессор каф. СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шандаров В.М.  
(должность, кафедра) (подпись) (Ф.И.О.)

Зав. кафедрой СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шарангович С.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами.

Декан РТФ \_\_\_\_\_ Попова К.Ю.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Зав. профилирующей  
кафедрой СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шарангович С.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

Зав. выпускающей  
кафедрой СВЧиКР \_\_\_\_\_ Шарангович С.Н.  
(подпись) (Ф.И.О.)

#### Эксперты:

ТУСУР, каф.ТОР, доц.

\_\_\_\_\_ С.И.Богомолов

ТУСУР, каф. СВЧиКР

Профессор \_\_\_\_\_ А.Е. Мандель

## **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ:**

Целью преподавания дисциплины является подготовка специалистов в области физических принципов функционирования, технологии изготовления волоконно-оптических элементов и устройств, а также их применения.

Основной задачей дисциплины является изучение фундаментальных положений оптики волноводных элементов, методов модуляции параметров световых волн, основных принципов проектирования волоконно-оптических устройств и приборов.

В результате изучения дисциплины у студентов должны сформироваться знания, умения и навыки, позволяющие проводить самостоятельный анализ явлений и эффектов в области волоконной оптики, а также эффективно работать в области проектирования, технологии и эксплуатации волоконно-оптических элементов, устройств и приборов. Студенты должны получить знания, имеющие не только самостоятельное значение, но и обеспечивающие подготовку для усвоения последующих дисциплин.

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП:**

Дисциплина по выбору (Б1.В.ДВ.6.1).

## **3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

- готовность к изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике проекта (ПК-7);
- способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики (ПК-17).

В результате изучения дисциплины студент должен

### **знать:**

- основные законы и соотношения волновой оптики и оптики направляющих диэлектрических структур (ПК-7);
- основы физики взаимодействия света со средой и основы нелинейной оптики в приложении к оптическим направляющим структурам (ПК-7);
- основы технологии производства волоконно-оптических световодов и световодных элементов (ПК-7, ПК-17);
- устройство, принципы работы и характеристики волоконно-оптических датчиков различных физических воздействий (ПК-7, ПК-17);
- устройство, принципы работы и характеристики современных волоконно-оптических лазеров (ПК-7, ПК-17);

### **уметь:**

- объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы волоконно-оптических компонентов и приборов (ПК-7);
- применять на практике известные методы исследования волоконно-оптических элементов и устройств (ПК-7, ПК-17);
- выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик волоконно-оптических компонентов и устройств (ПК-7, ПК-17);
- проводить компьютерное моделирование и проектирование волоконно-оптических компонентов и устройств, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации таких устройств (ПК-7, ПК-17);
- пользоваться справочными данными по волоконно-оптическим компонентам и приборам при проектировании инфокоммуникационных систем и сетей связи, сопоставляя

особенности характеристик таких компонентов и приборов (ПК-7, ПК-17);

**владеть:**

- навыками чтения и изображения схем волоконно-оптических систем и сетей на основе современной элементной базы волоконной оптики (ПК-17);
- навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования волоконно-оптических элементов и устройств (ПК-17);
- навыками практической работы с волоконно-оптическими элементами, а также с лабораторными макетами различных волоконно-оптических приборов и с контрольно-измерительной аппаратурой (ПК-17).

**4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ВИДЫ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетных единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры	
		5	6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	14	8	6
В том числе:			
Лекции	6	6	-
Лабораторные работы (ЛР)	8	-	4
Практические занятия	6	2	2
<b>Самостоятельная работа (всего), в том числе:</b>	90	40	50
Изучение материала лекций	20	20	-
Подготовка к контрольным работам	46	10	36
Самостоятельное изучение отдельных тем	24	10	14
Подготовка к экзамену и сдача экзамена		-	4
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)		Диф. зачет	
Общая трудоемкость	108	108	
Зачетные единицы трудоемкости	3	3	

**5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

**5.1. Разделы дисциплины и виды занятий**

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Лаб. зан.	Практ. Зан.	СРС	Всего час.	Формируемые компетенции (ОК, ПК)
1	Введение. Основные соотношения для описания плоских световых волн и световых пучков.	2	-	1	30	33	ПК-7, 17
2	Волоконные световоды. Волоконные и интегрально-оптические элементы для	2	2	2	30	36	ПК-7, 17

	волоконной оптики.							
3	Волоконно-оптические датчики. Волоконные лазеры.	2	2	1	30	35	ПК-7, 17	
Итого:		108 часов						

## 5.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела	Трудоемкость (час.)	Формируемые компетенции (ОК, ПК)
1	Введение. Основные соотношения для описания плоских световых волн и световых пучков.	Задачи курса. Место дисциплины в учебном процессе. Система уравнений электромагнитного поля для диэлектрической среды. Волновое уравнение. Структура поля плоской световой волны в безграничной среде. Поляризация света. Поляризационные элементы. Отражение света от плоской границы. Полное внутреннее отражение света. Параболическое уравнение теории дифракции. Гауссов световой пучок.	2	ПК-7, ПК-17
2	Волоконные световоды. Волоконные и интегрально-оптические элементы для волоконной оптики.	Планарный, канальный и цилиндрический диэлектрические волноводы: связь между компонентами векторов, волновые уравнения, дисперсионные уравнения, типы направляемых мод. Волоконные световоды с двойным лучепреломлением; фотонно-кристаллические и неквацевые световоды. Волоконно-оптические брэгговские решетки. Канальные волноводно-оптические пассивные и управляющие элементы для волоконной оптики.	2	ПК-7, ПК-17
3	Волоконно-оптические датчики. Волоконные лазеры.	Классификация волоконно-оптических датчиков по назначению волоконно-оптического тракта и методам модуляции оптического излучения. Принципы построения и примеры реализации волоконно-оптических датчиков с амплитудной, поляризационной, частотной и фазовой модуляцией. Активные волоконные световоды. Преимущества волоконно-оптических лазеров. Волоконные лазеры: история, типовые схемы, области применения. Рамановские волоконные лазеры.	2	ПК-7, ПК-17

## 5.3 Разделы дисциплины и междисциплинарные связи с обеспечивающими (предыдущими) и обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами

№ п/п	Наименование обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин	№ № разделов данной дисциплины из табл.5.1, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин		
		1	2	3
<b>Предшествующие дисциплины</b>				
1	Математический анализ	+	+	+
2	Физика	+	+	+
3	Информатика	+	+	+
4	Математические методы описания сигналов	+	+	+
5	Физические основы оптоэлектроники	+	+	+
6	Введение в оптические системы и сети связи	+	+	+
<b>Последующие дисциплины</b>				
1	Волоконно-оптические устройства	+	+	+

	технологического назначения			
2	Оптические направляющие среды	+	+	+
3	Оптические цифровые телекоммуникационные системы	+	+	+
4	Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства	+	+	+

#### 5.4. Соответствие компетенций, формируемых при изучении дисциплины, и видов занятий

Перечень компетенций	Виды занятий					Формы контроля по всем видам занятий
	Л	Лаб	Пр.	КР/КП	СРС	
ПК-7	+	+	+	-	+	Выступление на семинарах. Опрос на лабораторных работах. Зачет
ПК-17	+	+	+	-	+	Выступление на семинарах. Опрос на лабораторных работах. Зачет

Л – лекция, Лаб – лабораторные работы, Пр – практические занятия, КР/КП – курсовая работа/проект, СРС – самостоятельная работа студента

#### 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Методы	Практические занятия	Лабораторные занятия	Лекции	Всего
Работа в группах	1	2	-	3
Итого	1	2	-	3

#### 7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

№ раздела дисциплины	Наименование лабораторных работ	Трудо-емкость (час.)	ОК, ПК
2, 3	Исследование принципа измерения микроперемещений с использованием поперечного смещения торца многомодового оптоволокна	4	ПК-7, ПК-17

#### 8. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ (СЕМИНАРЫ)

№	Раздел дисциплины из табл. 5.1	Тематика практических занятий	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК
2	1	Расчет основных параметров волоконных световодов.	1	ПК-7, ПК-17
3	2	Расчет характеристик интегрально-оптических компонентов для волоконной оптики.	2	ПК-7, ПК-17
5	3	Расчет характеристик волоконно-оптических датчиков.	1	ПК-7, ПК-17

#### 9. САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА

№ п/п	Разделы дисциплины из табл. 5.1	Тематика самостоятельной работы (детализация)	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК	Контроль выполнения работы
1.	1	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям	30	ПК-7	Зачет.

2.	3	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к лабораторной работе.	30	ПК-7, ПК-17	Отчет по лабораторной работе. Зачет.
3.	6	Изучение теоретического материала. Подготовка к практическим занятиям. Подготовка к лабораторной работе.	30	ПК-7, ПК-17	Отчет по лабораторной работе. Зачет.

## 10. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ)

Курсовые проекты (работы) учебным планом не предусмотрены

## 11. БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА

### МЕТОДИКА ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Осуществляется в соответствии с **Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов** (приказ ректора 25.02.2010 № 1902) и основана на балльно-рейтинговой системе оценки успеваемости, действующей с 2009 г., которая включает **текущий** контроль выполнения элементов объема дисциплины по элементам контроля с подведением текущего рейтинга (раздел 6).

**Правила формирования пятибалльных оценок** за каждую контрольную точку (КТ1, КТ2) осуществляется путем округления величины, рассчитанной по формуле:

$$КТx|_{x=.2} = \frac{(Сумма \_ баллов, \_ набранная \_ к \_ КТx) * 5}{Требуемая \_ сумма \_ баллов \_ по \_ балльной \_ раскладке}$$

После окончания семестра студент, набравший менее 50 баллов, считается неуспевающим, не получившим зачет. **Студент, выполнивший все запланированные лабораторные работы, и т.д.** и набравший сумму 50 и более баллов, получает зачет «автоматом»..

**Таблица 11.1 Распределения баллов в течение семестра**

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую контрольную точку с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Посещение лекций	16			<b>16</b>
Тестовый контроль		30		<b>30</b>
Выполнение лабораторных работ		20	20	<b>40</b>
Компонент своевременности		7	7	<b>14</b>
<b>Итого максимум за период:</b>	<b>16</b>	<b>57</b>	<b>27</b>	<b>100</b>
<b>Нарастающим итогом</b>	<b>16</b>	<b>73</b>	<b>100</b>	

**Таблица 11.2 Пересчет баллов в оценки за контрольные точки**

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

## **12. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ:**

### **12.1. Основная литература**

1. Шандаров В. М. Волоконно-оптические устройства технологического назначения: [Электронный ресурс]: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР. - 2013. – 198 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/3709>

### **12.2. Литература дополнительная**

1. Фриман, Роджер. Волоконно-оптические системы связи : Пер. с англ. / Р. Фриман ; ред. пер. Н. Н. Слепов. - 3-е изд., доп. - М. : Техносфера, 2006. - 495[1] с. : ил., табл. - (Мир связи ; IX-03). (14)

2. Игнатов А.Н. Оптоэлектроника и нанофотоника [Электронный ресурс]: учебное пособие. – СПб.: Лань, 2011.- 528 с. Режим доступа <http://e.lanbook.com/view/book/690>

### **12.3. Перечень методических указаний по практическим занятиям и лабораторным работам**

1. Карпушин П. А., Шандаров В. М. Исследование принципа измерения микроперемещений с использованием поперечного смещения торца многомодового оптоволокна: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе для бакалавров направления 210700.62 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" (профиль - "Оптические системы и сети связи") – Томск: ТУСУР. – 2013. 8 с., Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/3706>

2. Шандаров В. М. Волоконно-оптические устройства и приборы [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе для бакалавров направления 210700.62 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" (профиль - "Оптические системы и сети связи"). - Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2013. – 60 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/3712>

## **13. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

### **13.1 Общие требования**

1. Компьютерный класс, оборудованный компьютерами класса Pentium II и выше, включенный в сеть Internet.

### **13.2 Материально-техническое обеспечение дисциплины для лиц с ограниченными возможностями здоровья**

2. Освоение дисциплины лицами с ОВЗ осуществляется с использованием средств обучения общего и специального назначения.

3. При обучении студентов с нарушениями слуха предусмотрено использование звукоусиливающей аппаратуры, мультимедийных средств и других технических средств приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями слуха, мобильной системы обучения для студентов с инвалидностью, портативной индукционной системы. Учебная аудитория, в которой обучаются студенты с нарушением слуха, оборудована компьютерной техникой, аудиотехникой, видеотехникой, электронной доской, мультимедийной системой.

4. При обучении студентов с нарушениями зрения предусмотрено использование в лекционных и учебных аудиториях возможности просмотра удаленных объектов (например, текста на доске или слайда на экране) при помощи видеоувеличителей для удаленного просмотра.



5. При обучении студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата используются альтернативные устройства ввода информации и другие технические средства приема-передачи учебной информации в доступных формах для студентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата, мобильной системы обучения для людей с инвалидностью.

#### **14. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ:**

Объем часов, предусмотренных учебным планом для изучения дисциплины, позволяет осветить только ключевые моменты и раскрыть базовые понятия при чтении лекций. Поэтому при реализации программы студенты должны достаточно много работать самостоятельно как при повторении лекционного материала, так и при подготовке к лабораторным занятиям и выполнении самостоятельной работы. Для обеспечения эффективного усвоения студентами материалов дисциплины необходимо на первом занятии снабдить их перечнем вопросов, которые подлежат изучению, списком основной и дополнительной литературы для самостоятельной работы, тематикой заданий для самостоятельной работы.

Для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации используется тестовый контроль знаний.

Лекционные занятия желательно проводятся с применением презентаций, а так же лекционных демонстраций. Это существенно улучшает динамику лекций и способствует лучшему усвоению материала. На лекциях необходимо обращать внимание на особенности применения рассматриваемого материала в последующих курсах, а также в будущей профессиональной деятельности.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)**

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
\_\_\_\_\_ П.Е. Троян  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**  
**ОСНОВЫ ВОЛОКОННОЙ ОПТИКИ**

Уровень основной образовательной программы: БАКАЛАВРИАТ

Направление(я) подготовки (специальность): 11.03.02 «ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ СВЯЗИ»

Профиль(и): ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ СВЯЗИ

Форма обучения ЗАОЧНАЯ

Факультет РТФ (РАДИОТЕХНИЧЕСКИЙ)

Кафедра СВЧиКР (СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ И КВАНТОВОЙ РАДИОТЕХНИКИ)

Курс 3

Семестр 5, 6

Учебный план набора 2012 года

Зачет \_\_\_\_ 6 \_\_\_\_ семестр

Диф. зачет \_\_\_\_\_ семестр

Экзамен \_\_\_\_ семестр

Томск 2017

## 1. Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины «Основы волоконной оптики» и представляет собой совокупность контрольно-измерительных материалов (типовые задачи (задания), контрольные работы, тесты и др.) и методов их использования, предназначенных для измерения уровня достижения студентом установленных результатов обучения.

ФОС по дисциплине используется при проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации студентов.

Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций приведен в таблице 1

**Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций**

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ПК-7	готовность к изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике проекта	<p><b>Должен знать</b> основные законы и соотношения волновой оптики и оптики направляющих диэлектрических структур; основы физики взаимодействия света со средой и основы нелинейной оптики в приложении к оптическим направляющим структурам; основы технологии производства волоконно-оптических световодов и световодных элементов; принципы работы и характеристики волоконно-оптических датчиков различных физических воздействий.</p> <p><b>Должен уметь</b> объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы волоконно-оптических элементов и устройств; выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик волоконно-оптических компонентов и устройств.</p> <p><b>Должен владеть</b> навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем на основе современной элементной базы волоконной оптики.</p>
ПК-17	способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и информатики	<p><b>Должен знать</b> принципы построения, особенности и характеристики волоконно-оптических элементов и приборов</p> <p><b>Должен уметь</b> проводить компьютерное моделирование и проектирование оптических и волоконно-оптических элементов и устройств, а также иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптических приборов, сопоставляя особенности характеристик таких материалов и элементов.</p> <p><b>Должен владеть</b> навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптических элементов и устройств различного назначения; навыками практической работы с лабораторными образцами оптических и волоконно-оптических элементов, с оптическими приборами и с контрольно-измерительной аппаратурой.</p>

Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции на всех этапах приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенции по этапам**

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
Отлично (высокий уровень)	Обладает фактическим и теоретическим знанием в пределах изучаемой области с пониманием границ применимости.	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для развития творческих решений, абстрагирования проблем.	Контролирует работу, проводит оценку, совершенствует действия работы.
Хорошо (базовый уровень)	Знает факты, принципы, процессы, общие понятия в пределах изучаемой области.	Обладает диапазоном практических умений, требуемых для решения определенных проблем в области исследования.	Берет ответственность за завершение задач в исследовании, приспосабливает свое поведение к обстоятельствам в решении проблем.
Удовлетворительно (пороговый уровень)	Обладает базовыми общими знаниями.	Обладает основными умениями, требуемыми для решения простых задач.	Работает при прямом наблюдении.

## 2. Реализация компетенций

### 1. Компетенция ПК-7

ПК-7: готовность к изучению научно-технической информации, отечественного и зарубежного опыта по тематике проекта.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов.

Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания представлены в таблице 3.

**Таблица 3–Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Основные законы и соотношения волновой оптики, оптики ограниченных световых пучков и теории волоконно-оптических направляющих структур; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; принципы построения, особенности и характеристики волоконно-оптических элементов и приборов.	Объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы оптических и волоконно-оптических элементов и устройств; применять на практике известные методы экспериментального исследования волоконно-оптических элементов и устройств; выполнять расчеты, связанные с определением параметров и характеристик оптических и волоконно-оптических компонентов и устройств.	Навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и волоконной оптики.

Виды занятий	Лекции. Практические занятия.	Лабораторные работы.  Практические занятия.  Самостоятельная работа студентов.	Лабораторные работы.  Самостоятельная работа студентов.
Используемые средства оценивания	Задачи. Зачет.	Задачи. Оформление отчетности и защита лабораторных работ.	Защита лабораторных работ. Зачет.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 4.

**Таблица 1 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах**

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	Знает основные законы и соотношения волновой оптики, оптики ограниченных световых пучков, теории цилиндрических оптических волноводов; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной волоконной оптики; принципы построения, особенности и характеристики оптических и волоконно-оптических элементов и приборов.	Умеет объяснять физику работы оптических и волоконно-оптических элементов и устройств; применять методы их экспериментального исследования; выполнять расчеты по определению параметров и характеристик оптических и волоконно-оптических компонентов и устройств.	Свободно владеет навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем на основе современной элементной базы оптики и волоконной оптики.
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	Понимает связи между различными понятиями в области физической оптики. Понимает принципы построения оптических и волоконно-оптических элементов и приборов.	Умеет выполнять поиск информации в области оптики, используя ресурсы отечественных и зарубежных источников. Умеет самостоятельно выбирать методы решения задач в области волоконной оптики.	Владеет навыками работы с литературными источниками, связанными с оптическими явлениями.
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	Дает определения основных понятий в области волоконной оптики.	Умеет работать со справочной литературой; умеет представлять результаты своей работы.	Может корректно представить информацию, связанную с оптическими явлениями.

## 2.2. Компетенция ПК-17

ПК-17: способность применять современные теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств электросвязи и

информатики.

Для формирования компетенции необходимо осуществить ряд этапов.

Этапы формирования компетенции, применяемые для этого виды занятий и используемые средства оценивания, представлены в таблице 5.

**Таблица 5–Этапы формирования компетенции и используемые средства оценивания**

Состав	Знать	Уметь	Владеть
Содержание этапов	Основные законы и соотношения волновой теории направляющих структур; характеристики волоконно-оптических элементов и приборов.	Выполнять расчеты характеристик волоконно-оптических компонентов; проводить компьютерное моделирование и проектирование оптических и волоконно-оптических приборов; иметь представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании волоконно-оптических приборов.	Навыками проектирования и компьютерного моделирования волоконно-оптических элементов и устройств различного назначения; навыками практической работы с лабораторными образцами оптических и волоконно-оптических элементов, с оптическими приборами и контрольно-измерительной аппаратурой.
Виды занятий	Лекции. Практические занятия.	Лабораторные работы. Практические занятия. Самостоятельная работа студентов.	Лабораторные работы.  Самостоятельная работа студентов.
Используемые средства оценивания	Задачи. Зачет.	Оформление отчетности и защита лабораторных работ.	Защита лабораторных работ. Зачет.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 7.

**Таблица 7 – Показатели и критерии оценивания компетенции**

Показатели и критерии	Знать	Уметь	Владеть
<b>Отлично (высокий уровень)</b>	Знает основные законы и соотношения волновой теории направляющих оптических структур; принципы построения, особенности и характеристики волоконно-оптических элементов и приборов.	Умеет проводить компьютерное моделирование и проектирование оптических и волоконно-оптических элементов и устройств; имеет представление о методах компьютерной оптимизации их характеристик; умеет пользоваться справочными данными по оптическим материалам и	Свободно владеет навыками чтения и изображения схем волоконно-оптических приборов и систем; навыками проектирования и компьютерного моделирования оптических элементов и устройств; навыками работы с реальными волоконно-оптическими

		элементам при проектировании волоконно-оптических приборов.	приборами и с контрольно-измерительной аппаратурой.
<b>Хорошо (базовый уровень)</b>	Понимает связи между различными понятиями в области волоконной оптики. Имеет представление о принципах построения интегрально-оптических элементов и приборов.	Имеет представление о методах компьютерной оптимизации характеристик волоконно-оптических элементов и приборов; умеет пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании волоконно-оптических приборов. Умеет самостоятельно определять методы решения задач проектирования.	Владеет навыками работы с литературными источниками в области волоконной оптики.
<b>Удовлетворительно (пороговый уровень)</b>	Имеет представление о принципах построения волоконно-оптических элементов и приборов, об основных понятиях в области волоконной оптики.	Умеет работать со справочной литературой; умеет представлять результаты своей работы.	Может корректно представить знания и информацию, связанную с оптическими явлениями.

### 3. Типичные контрольные задания

Для реализации вышеперечисленных задач обучения используются следующие материалы:

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

**Контрольные задачи (типичные) по элементарным знаниям и практическим навыкам по темам:**

#### 3.1. ТЕМА: Характеристики поля и поляризация плоских световых волн

##### Задача 1.

Запишите выражение для напряженности электрического поля плоской световой волны, распространяющейся в среде вдоль оси Z, если в плоскости XOY фазовый сдвиг между компонентами вектора E вдоль осей X и Y составляет 90°, а отношение их амплитуд  $E_{mx}/E_{my}=0,5$ .

##### Решение:

Согласно условиям задачи, плоская световая волна распространяется вдоль оси z.

Тогда, исходя из поперечной структуры ее поля, вектор  $\vec{E}$  может располагаться лишь в плоскости XOY и имеет составляющие  $E_x$  и  $E_y$ . Изменение величины напряженности электрического поля плоской световой волны во времени и пространстве определяется выражением:

$\vec{E} = \bar{x}_0 E_{mx} \cos(\omega t - kz) + \bar{y}_0 E_{my} \cos(\omega t - kz - \varphi)$ . Поскольку фазовый сдвиг между составляющими вектора  $\vec{E}$  вдоль этих осей равен  $90^\circ$ , а  $E_{my} = \sqrt{2} E_{mx}$  то это соотношение принимает окончательный вид:

$$\vec{E} = \bar{x}_0 E_{mx} \cos(\omega t - kz) + \bar{y}_0 \cdot \sqrt{2} E_{mx} \sin(\omega t - kz) = E_{mx} \cdot [\bar{x}_0 \cos(\omega t - kz) + \sqrt{2} \bar{y}_0 \sin(\omega t - kz)]$$

Таким образом, рассматриваемый случай соответствует плоской световой волне с эллиптической поляризацией, причем большая ось эллипса параллельна оси Y (поскольку  $E_{my} = \sqrt{2} E_{mx}$ ).

### Задача 2.

На пленочный поляроид падает линейно поляризованный световой пучок мощностью 1 мВт, плоскость поляризации света отклонена от направления главной оси поляроида на  $30^\circ$ . Какова величина световой мощности, прошедшей через поляризатор, если поляризующий материал заключен между двумя стеклянными пластинками (для стекла  $n=1,51$ ), а френелевскими отражениями на границе между стеклом и этим материалом можно пренебречь?

### Решение:

Уменьшение мощности световой волны, прошедшей через поляроид, обусловлено в реальных элементах эффектами частичного отражения света на границах раздела сред с разными свойствами, поглощения света в материале структуры, а также собственно поляризующим действием такого элемента.

Для наглядности представим схему данного элемента (рис. 1.2). Частичное отражение света может наблюдаться здесь на границах раздела 1 – 4 (отмечены стрелками). Согласно условиям задачи, можно пренебречь эффектом отражения света на границах 2 и 3. Поскольку условиями не определена величина оптического поглощения в материале поляроида, им также пренебрегаем. В итоге, для определения прошедшей световой мощности учитываем эффект частичного отражения света на входной и выходной границах структуры (границы 1 и 4), а также отклонением плоскости поляризации света от главного направления поляроида, определяемым законом Малюса.

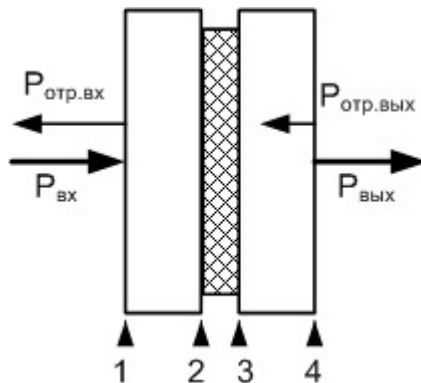


Рис. 1.2. Схема пленочного поляроида.

Поскольку коэффициент отражения света (по интенсивности) на границе диэлектрической



среды с показателем преломления  $n$  и воздуха определяется соотношением  $r = \left( \frac{n-1}{n+1} \right)^2$ ,

то интенсивность (или мощность) прошедшего пучка при полном пропускании поляроида была бы равна  $P_{np} = P_{над} \cdot (1-r)(1-r) = P_{над} \cdot (1-r)^2$ . Учет поворота главной оси поляроида относительно плоскости поляризации световой волны приводит это соотношение к виду:

$P_{np} = P_{над} \cdot (1-r)^2 \cdot \cos^2 \theta$ , где  $\theta=30^\circ$ . Для  $n=1,51$  в итоге получаем:

$r=0,0413$ ;  $P_{np}=1 \cdot (1-0,0413)^2 \cdot \cos^2(30^\circ)=0,9178 \cdot 0,75=0,6884$  мВт.

Таким образом, мощность прошедшего через поляризатор светового пучка в данном случае составляет 0,6884 мВт.

### 3.2. ТЕМА: Расчет основных параметров волоконных световодов.

#### Задача 1.

1. Выведите соотношение, определяющее числовую апертуру NA волоконного световода со ступенчатым профилем показателя преломления и параметрами волоконного световода  $n_1$  – показатель преломления материала сердцевины,  $n_2$  - показатель преломления материала оболочки световода.

#### Решение:

Представим на рисунке геометрию задачи, определим понятие числовой апертуры. Затем, используя закон Снеллиуса при прохождении световой волны через торцевую поверхность оптического волокна и понятие критического угла полного внутреннего отражения света на границе раздела «сердцевина световода – оболочка световода», получим выражение для синуса угла падения света на торцевую поверхность световода.

### 3.3. ТЕМА: Расчет характеристик интегрально-оптических компонентов для волоконной оптики.

#### Задача 1.

Найдите критическую толщину волноводного слоя для направляемой  $TE_3$  моды тонкопленочного асимметричного волновода, если он представляет собой пленку стекла с показателем преломления  $n_1=1,6$ , нанесенную на подложку из стекла с показателем преломления  $n_2=1,5$ . Длина волны света  $\lambda=1,5$  мкм.

#### Решение:

Используя соотношение, найдем:

$$h_{кр} = \frac{3\pi - \arctg \sqrt{\frac{n_1^2 - n_2^2}{n_0^2 - n_1^2}}}{k_0 \sqrt{n_0^2 - n_1^2}} = \frac{3\pi - \arctg \sqrt{\frac{1,5^2 - 1}{1,6^2 - 1,5^2}}}{2\pi \sqrt{1,6^2 - 1,5^2}} \lambda = \frac{3,352\pi}{2\pi \cdot 0,557} \lambda = 3\lambda .$$

Таким образом, критическая толщина волноводного слоя для  $TE_3$  моды равна 4,5 мкм.

### 3.4. ТЕМА: Нелинейно-оптические эффекты в волоконных световодах

#### Задача 1.

Дифракционная эффективность фоторефрактивной решетки составляет 10%. Оценить величину поля пространственного заряда  $E_{sc}$ , если решетка сформирована в пластине ниобата лития толщиной 1 мм, вектор решетки параллелен оси Z, считывание осуществляется излучением He-Ne лазера с обыкновенной поляризацией, а период

решетки равен 5 мкм.

Справка: Величины обыкновенного и необыкновенного показателей преломления на данной длине волны составляют 2,286 и 2,2; а электрооптических коэффициентов  $r_{13}=9,6 \cdot 10^{-10}$  см/В;  $r_{33}=30,9 \cdot 10^{-10}$  см/В.

**Решение:**

Дифракционная эффективность решетки определяется формулой Когельника

$$\eta = \sin^2 \left( \frac{\pi \Delta}{\lambda \cos \theta} \right),$$
 где  $L$  – толщина решетки;  $\Delta n$  – изменение показателя преломления

материала;  $\lambda$ - длина волны света;  $\theta$  - угол Брэгга. Из этого соотношения найдем величину  $\Delta n$ , а поле пространственного заряда определим из условия, что изменение показателя преломления материала обусловлено линейным электрооптическим эффектом. В этом случае, имея в виду, что поляризация считывающего света соответствует обыкновенной волне,  $\Delta n = -0,5 \cdot n^3 r_{31} E_{sc}$ , где  $n$  – показатель преломления ниобата лития для обыкновенной волны.

**3.5. ТЕМА: Расчет характеристик волоконно-оптических датчиков**

Задача 1.

Линейно поляризованная световая волна распространяется в направлении оси X кристалла ниобата лития. Найти величину изменения показателя преломления, если к электродам, нанесенным на грани кристалла, перпендикулярные оси Z (толщина кристалла в этом направлении – 1 см), приложено электрическое напряжение в 1 кВ. Плоскость поляризации света совпадает с плоскостью XOY, длина волны света  $\lambda=633$  нм.

Справка: Величины обыкновенного и необыкновенного показателей преломления на данной длине волны составляют 2,286 и 2,2; а электрооптических коэффициентов  $r_{13}=9,6 \cdot 10^{-10}$  см/В;  $r_{33}=30,9 \cdot 10^{-10}$  см/В.

**Решение:**

Поскольку световая волна распространяется вдоль оси X, а плоскость поляризации света совпадает с плоскостью XOY, то она соответствует обыкновенной волне в кристалле. Величина изменения показателя преломления за счет линейного электрооптического эффекта в случае обыкновенной поляризации света и управляющего электрического поля, приложенного вдоль оси Z, определяется соотношением:

$$\Delta n_x = -\frac{1}{2} n_0^3 \cdot r_{13} \cdot E_z$$

Подставляя в это выражение заданные значения обыкновенного показателя преломления, соответствующего электрооптического коэффициента, электрического напряжения и толщины кристаллического образца, получим:

$$\Delta n_x = -\frac{1}{2} \cdot 2,286^3 \cdot 9,6 \cdot 10^{-10} \cdot 10^3 = -5,734 \cdot 10^{-6}$$

Таким образом, величина изменения обыкновенного показателя преломления составляет в данном случае  $5,734 \cdot 10^{-6}$ .

**4. Темы самостоятельной работы студентов**

4.1. Основные положения физической оптики
4.2. Оптика ограниченных световых пучков
4.3. Распространение световых волн в материальных средах
4.4 Взаимодействия света с физическими полями
4.5. Элементы нелинейной оптики

## 5. Темы лабораторных работ

1. Исследование принципа измерения микроперемещений с использованием поперечного смещения торца многомодового оптоволокна.

## 6. Экзаменационные вопросы

1. Поляризация плоских волн. Линейная, круговая, эллиптическая поляризация. Выражения для полей плоских световых волн с заданной поляризацией.
2. Поляризационные элементы: пленочные поляризаторы, кристаллические поляризаторы, фазовые пластинки. Изменение состояния поляризации плоской световой волны, прошедшей через фазовую пластинку.
3. Отражение и преломление света на границе раздела. Горизонтальная и вертикальная поляризация. Закон Снеллиуса. Угол Брюстера.
4. Полное внутреннее отражение света на границе раздела диэлектрических сред. Структура поля световой волны при полном внутреннем отражении.
5. Волоконные световоды: одномодовые и многомодовые, со ступенчатым и градиентным профилями показателя преломления. Понятие числовой апертуры световода. Дисперсия в волоконных световодах: межмодовая, хроматическая, поляризационно-модовая дисперсия. Фотонно-кристаллические волоконные световоды. Инфракрасные световоды.
6. Планарный оптический волновод. TE и TM моды, дисперсионное уравнение планарного волновода со ступенчатым профилем.
7. Скалярное волновое уравнение для цилиндрического диэлектрического волновода. Моды волоконных световодов.
8. Волоконно-оптические брэгговские решетки. Соотношение для связи резонансной длины волны с пространственным периодом. Методы и схемы формирования волоконных решеток.
9. Модуляторы оптического излучения: фазовый электрооптический модулятор, электрооптический модулятор интенсивности.
10. Волоконные лазеры – основная схема, конструктивные элементы, особенности схем накачки мощных волоконных лазеров.
11. Суть эффекта комбинационного рассеяния (Рамановского рассеяния) и вынужденного комбинационного рассеяния света. Рамановские лазеры. Типовая схема рамановского лазера.
12. Структурная схема преобразования физической величины в волоконно – оптических датчиках. Классификация датчиков по типу модуляции световой волны.
13. Волоконно-оптические датчики с амплитудной модуляцией: датчики температуры зондового типа и датчика с оптическим преобразователем.
14. Волоконно-оптические датчики механических величин (ускорения, давления).

## 7. Методические материалы

Для обеспечения процесса обучения и решения задач обучения используются следующие материалы для оценивания знаний и характеризующие этапы формирования компетенций ( все методические материалы приведены в п.12 программы):

1. Шандаров В. М. Волоконно-оптические устройства технологического назначения: [Электронный ресурс]: Учебное пособие. – Томск: ТУСУР. - 2013. – 198 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/3709>

2. Карпушин П. А., Шандаров В. М. Исследование принципа измерения микроперемещений с использованием поперечного смещения торца многомодового оптоволокна: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе для бакалавров направления 210700.62 "Инфокоммуникационные технологии и системы

связи" (профиль - "Оптические системы и сети связи") – Томск: ТУСУР. – 2013. 8 с.,  
Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/3706>

3. Шандаров В. М. Волоконно-оптические устройства и приборы [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям и самостоятельной работе для бакалавров направления 210700.62 "Инфокоммуникационные технологии и системы связи" (профиль - "Оптические системы и сети связи"). - Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиозлектроники, 2013. – 60 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/3712>