

Министерство образования и науки Российской Федерации  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
 высшего образования  
 «ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ  
 И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»



Документ подписан электронной подписью  
 Сертификат: 1с6сfa0a-52a6-4f49-aef0-5584d3fd4820  
 Владелец: Троян Павел Ефимович  
 Действителен: с 19.01.2016 по 16.09.2019  
 «\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА**

Уровень основной образовательной программы бакалавриат  
 Направление подготовки 12.03.03 "Фотоника и оптоинформатика"  
 Профиль: Фотоника нелинейных, волноводный и периодических структур  
 Форма обучения Очная

Факультет электронной техники (ФЭТ)  
 Кафедра электронных приборов (ЭП)

Курс 4 Семестр 7

**Учебный план набора 2014 года**

Распределение рабочего времени:

№	Виды учебной работы	Семестр 7	Всего	Единицы
1	Лекции	20	20	час
2	Лабораторные работы	12	12	час
3	Практические занятия	12	12	час
4	Курсовая работа (КРС) (аудиторная)	не предусмотрена		час
5	Всего аудиторных занятий (сумма 1 - 4)	44	44	час
6	Из них в интерактивной форме	30	30	час
7	Самостоятельная работа студентов (СРС)	28	28	час
8	Всего (без экзамена) (Сумма 5, 7)	72	72	час
9	Самост. работа на подготовку, сдачу экзамена	36	36	час
10	Общая трудоемкость (Сумма 8, 9)	108	108	час
	(в зачетных единицах)	3	3	ЗЕТ

Экзамен – 7 (седьмой) семестр

Томск 2017

### Лист согласований

Рабочая программа составлена с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования (ФГОС ВПО) третьего поколения по направлению подготовки 12.03.03 – Фотоника и оптоинформатика, утвержденного приказом Министерства образования и науки РФ от 3 сентября 2015 г. N 958.

Профиль: Фотоника нелинейных, волноводных и периодических структур

Рабочая программа рассмотрена и утверждена на заседании кафедры « » 2016 г., протокол №

Разработчик: \_\_\_\_\_ В.М. Шандаров

Зав. кафедрой, профессор каф.ЭП \_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

Рабочая программа согласована с факультетом, профилирующей и выпускающей кафедрами направления подготовки 12.03.03 "Фотоника и оптоинформатика"

Декан ФЭТ \_\_\_\_\_ А.И. Воронин

Зав. обеспечивающей кафедрой СВЧиКР \_\_\_\_\_ С.Н. Шарангович

Зав. выпускающей кафедрой ЭП \_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

Эксперты:

Проф. каф. СВЧиКР \_\_\_\_\_ А.Е. Мандель

Председатель методической комиссии каф ЭП \_\_\_\_\_ Л.Н. Орликов

## 1. Цели и задачи дисциплины «Волоконная оптика»

**Цель** дисциплины - усвоение студентами физических основ функционирования, фундаментальных пределов и ограничений устройств волоконной оптики, находящих все более широкое применение в современной науке и технике.

**Задачи дисциплины** - формирование ясной физической картины распространения оптического излучения в волноводных средах; комплексный анализ причин и механизмов потерь оптического излучения, дисперсионных характеристик волноводов; сравнительный анализ методов модуляции излучения и ограничения, накладываемые этими методами на устройства волоконной оптики; ознакомление с современным уровнем волоконной оптики, тенденциями ее дальнейшего развития.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

«Волоконная оптика» – дисциплина по выбору (Б1.В.ДВ.6.1) подготовки студентов по направлению подготовки бакалавров 12.03.03 " Фотоника и оптоинформатика".

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование следующих компетенций:

– способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики (ОПК-1);

– способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат (ОПК-2).

В результате изучения дисциплины студент должен:

**знать:** физические основы функционирования, фундаментальные пределы и ограничения устройств волоконной оптики.

**уметь:** строить математические и физические модели процессов распространения оптического излучения в волноводных средах; проводить комплексный анализ причин и механизмов потерь оптического излучения, дисперсионных характеристик волноводов; проводить сравнительный анализ методов модуляции излучения.

**владеть:** терминологией, используемой в волоконной оптике; навыками моделирования и исследования процессов распространения световых волн в оптических волокнах; современными методами и подходами при разработке и эксплуатации устройств и систем волоконной оптики.

## 4. Объем дисциплины и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет две зачетных единицы.

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		7
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	44	44
В том числе:		
Лекции	20	20
Лабораторные работы (ЛР)	12	12
Практические занятия (ПЗ)	12	12
Из них в интерактивной форме	30	30
<b>Самостоятельная работа (всего)</b>	28	28
В том числе:		
Проработка лекционного материала	8	8
Подготовка к практическим занятиям	6	6
Подготовка к контрольным работам	-	-
Подготовка к лабораторным работам	8	8
Самостоятельное изучение тем теоретической части	6	6
Курсовой проект (работа) (самостоятельная работа)	-	-
Подготовка к экзамену и сдача экзамена	36	36
Вид промежуточной аттестации (зачет, экзамен)		экзамен
Общая трудоемкость	108	108
в зачетных единицах	3	3

## 5. Содержание дисциплины

### 5.1. Разделы дисциплин и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекц.	Лаб. зан.	Практ. зан.	КРС (ауди-торная)	СРС	Всего (без экз.)	Формируемые компетенции (ОПК)
1	Введение	1				2	3	ОПК-1; ОПК-2
2	Основные соотношения для описания плоских световых волн и световых пучков	5	4	4	-	4	17	ОПК-1; ОПК-2
3	Волоконные световоды и волоконно-оптические элементы	4	4	4	-	8	20	ОПК-1; ОПК-2
4	Методы изготовления волоконных световодов и волоконно-оптических элементов	2	-		-	6	8	ОПК-1; ОПК-2
5	Нелинейно-оптические эффекты в волоконных световодах	2	-	2	-	6	10	ОПК-1; ОПК-2
6	Волоконно-оптические датчики и волоконные лазеры	4	4	2	-	4	14	ОПК-1; ОПК-2
	Итого	20	12	12	-	30	72	

### 5.2. Содержание разделов дисциплины (по лекциям)

№ п/п	Раздел дисциплины	Содержание раздела	Трудо-емкость (час)	Формируемые компетенции (ОК, ПК)
1	Введение	Цель и содержание курса, его связь с другими дисциплинами, историческая справка о возникновении и развитии волоконной оптики, основная и дополнительная литература	1	ОПК-1; ОПК-2
2	Основные соотношения для описания плоских световых волн и световых пучков	Система уравнений Максвелла для диэлектрической среды. Волновое уравнение. Плоские световые волны в безграничной среде. Поляризация света. Поляризационные элементы. Прохождение света через границу раздела. Полное внутреннее отражение света. Параболическое уравнение теории дифракции. Гауссов световой пучок.	5	ОПК-1; ОПК-2
3	Волоконные световоды и волоконно-оптические элементы	Планарный оптический волновод, моды и дисперсионное уравнение планарного волновода. Волоконные световоды, скалярное волновое уравнение, поля мод для световода со ступенчатым профилем показателя преломления. Числовая апертура и число мод волоконного световода. Дисперсия и механизмы потерь света в волоконном световоде. Типы оптических волокон. Особенности физических свойств и характеристик световодов для волоконно-оптических устройств и приборов. Волоконно-оптические соединители, разветвители, поляризаторы, разъемы, сварные соединения, волоконно-оптические брэгговские решетки.	4	ОПК-1; ОПК-2

4	Методы изготовления волоконных световодов и волоконно-оптических элементов	Основные материалы волоконной оптики: стекла, кристаллические и полимерные материалы. Подготовка заготовок для производства волоконных световодов. Методы вытягивания оптического волокна.	2	ОПК-1; ОПК-2
5	Нелинейно-оптические эффекты в волоконных световодах	Поляризация диэлектрика в электрическом поле. Среды с квадратичной и кубичной оптической нелинейностью - возможные нелинейно-оптические эффекты в таких средах. Уравнение нелинейных волн. Нелинейно - оптические материалы. Генерация второй гармоники. Самомодуляция. Самовоздействие световых пучков в нелинейной среде. Временные и пространственные оптические солитоны. Вынужденное комбинационное рассеяние и вынужденное рассеяние Мандельштама - Бриллюэна. Оптические солитоны в волоконном световоде.	2	ОПК-1; ОПК-2
6	Волоконно-оптические датчики и волоконные лазеры	Классификация волоконно-оптических датчиков по назначению волоконного тракта и методам модуляции оптического излучения. Датчики амплитудного, поляризационного и интерферометрического типов. Датчики на основе волоконных брэгговских решеток. Волоконные лазеры: типовые схемы, характеристики, области применения. Рамановские волоконные лазеры: принцип работы, характеристики, области использования и перспективы.	4	ОПК-1; ОПК-2
Итого			20	

### 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, для которых необходимо изучение обеспечивающих (предыдущих) и обеспечиваемых (последующих) дисциплин					
		1	2	3	4	5	6
<b>Предшествующие дисциплины</b>							
	Физика	+	+	+	+	+	+
	Физические основы квантовой и оптической электроники	-	+	+	+	+	+
	Основы фотоники	-	+	+	+	+	+
	Оптические методы обработки информации	-	+	+	+	+	+
	Методы математической физики	-	+	+	+	+	+
<b>Последующие дисциплины</b>							
	Физика фотонных кристаллов	-	+	+	+	+	+
	Взаимодействие оптического излучения с веществом	-	+	+	+	+	+
	Голографические методы в фотонике и оптоинформатике	-	+	+	+	+	+

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

Перечень компетенций	Виды занятий					Формы контроля
	Л	Лаб	Пр	КР	СРС	
ОПК-1	+	+	+	-	+	Отчет по лабораторным работам. Проверка заданий на практических занятиях. Зачет.
ОПК-2	+	+	+	-	+	Отчет по лабораторным работам. Проверка заданий на практических занятиях. Зачет.

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

## 6. Интерактивные методы и формы организации обучения

Методы	Интерактивные практические занятия	Интерактивные лабораторные занятия	Интерактивные лекции	Всего
Мозговой штурм	10	-	10	20
Работа в группах	-	10	-	10
Итого	10	10	10	30

## 7. Лабораторный практикум

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Наименование лабораторных работ	Трудо-емкость (час)	Компетенции ОК, ПК
1	3	Исследование поляризационных свойств планарного оптического волновода в ниобате лития, полученного методом ионной имплантации	4	ОПК-1; ОПК-2
2	3	Исследование эффективности ввода света в волоконный световод	4	ОПК-1; ОПК-2
3	6	Исследование волоконно-оптического датчика микроперемещений на основе полимерного оптического волокна	4	ОПК-1; ОПК-2
		всего	12	

## 8. Практические занятия (семинары)

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика практических занятий (семинаров)	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК
1	2	Методики расчета характеристик дискретных оптических элементов волоконно-оптических устройств: поляризаторов, фазовых пластинок.	4	ОПК-1; ОПК-2
2	2, 3	Расчет основных параметров волоконных световодов, параметров чувствительных элементов поляризационно-вращательного типа, характеристик датчиков. Семинар.	4	ОПК-1; ОПК-2
3	3	Расчет характеристик планарных волноводов и волоконных брэгговских решеток. Семинар.	4	ОПК-1; ОПК-2
		всего	12	

## 9. Самостоятельная работа

№ п/п	№ раздела дисциплины из табл. 5.1	Тематика самостоятельной работы (детализация)	Трудо-емкость (час.)	Компетенции ОК, ПК	Контроль выполнения работы (опрос, тест, дом. задание и т.д.)
1	1 – 6	Проработка лекционного материала	8	ОПК-1; ОПК-2	Опрос
2	2, 3	Подготовка к практическим занятиям	6	ОПК-1; ОПК-2	Опрос и проверка на практических занятиях.
3	3, 6	Подготовка отчетов по лабораторным работам	8	ОПК-1; ОПК-2	Отчет. Допуск к лабораторной работе
4	1 - 6	Самостоятельное изучение тем теоретической части	6	ОПК-1; ОПК-2	Опрос, семинары
		Итого	28		

## 10. Примерная тематика курсовых работ

Курсовая работа не предусмотрена

## 11. Рейтинговая система для оценки успеваемости студентов

Оценка объема и качества знаний студентов при внутрисеместровой и промежуточной аттестации определяется в соответствии с «Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов (приказ ректора от 25.02.2010 № 1902). Семестровая балльная раскладка по дисциплине приведена в таблице 11.1.

Таблица 11.1 – Балльная раскладка по дисциплине «Волоконная оптика», седьмой семестр (зачет, лекции, лабораторные занятия, практические занятия)

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую КТ 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 занятий	2	2	2	6
Тестовый контроль	10	10	10	30
Практические занятия	10	10	10	30
Выполнение и защита результатов лабораторных работ	6	8	8	22
Компонент своевременности	4	4	4	12
Итого максимум за период:	32	34	34	100
Нарастающим итогом	32	66	100	100

Рейтинг выставляется полностью, если работа сдана в срок (на текущей неделе); 50% рейтинга выставляется, если текущая неделя просрочена. За более позднюю сдачу заданий рейтинг не ставится. При пропусках по уважительным причинам оценка выставляется по самостоятельному заданию.

Составляющая балльной оценки входит в итоговую сумму баллов. Методика выставления баллов за ответы на экзамене определяется преподавателем (например, до 15 баллов за каждый из 2-х вопросов в билете).

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

Таблица 11.3– Пересчет итоговой суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов, учитывает успешно сданный экзамен	Оценка (ECTS)
5 (отлично)	90 - 100	A (отлично)
4 (хорошо)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
65 – 69		
3 (удовлетворительно)	60 - 64	E (посредственно)
2 (неудовлетворительно), (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

Преобразование суммы баллов в традиционную оценку и в международную буквенную оценку происходит один раз в конце семестра только после подведения итогов изучения дисциплины.

## **12. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **12.1 Основная литература**

1. В.М. Шандаров. Волоконно-оптические устройства технологического назначения. - Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, [Электронный ресурс]: учебное пособие - Томск: ТУСУР, 2012. - 198 с. Режим доступа <http://edu.tusur.ru/training/publications/741>

### **12.2 Дополнительная литература**

1. Б.А.Красюк, Г.И.Корнеев. Оптические системы связи и световодные датчики (вопросы технологии). - М.: Радио и связь, 1985. - 192 с. (6)
2. 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)
3. 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 волоконно - оптического датчика микроперемещений на основе полимерного оптического волокна: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/59>
2. Тренихин П. А., Шандаров В. М. Исследование эффективности ввода света в волоконный световод: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/120>
3. Шандаров В. М., Круглов В. Г. Исследование поляризационных свойств планарного оптического волновода в ниобате лития, полученного методом ионной имплантации: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/62>
4. Шандаров В.М. Волоконно-оптические устройства и системы технологического назначения и управления: [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям 2012. - 31 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/742>  
Методические указания по самостоятельной работе студентов приведены в Учебно-методическом пособии [4], Главы 1, 2, Стр. 4 - 28.

### **12.3 Программное обеспечение**

Microsoft PoweRoint для проведения лекций, операционные системы Windows и Unix для проведения лабораторных работ.

### **12.4 Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

Образовательный портал университета, библиотека университета

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

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



**Приложение к рабочей программе**

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  
ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА**

Уровень основной образовательной программы бакалавриат  
Направление подготовки Направление подготовки 12.03.03 " Фотоника и  
оптоинформатика "

Профиль Фотоника нелинейных, волноводный и периодических структур

Форма обучения очная

Факультет Электронной техники (ФЭТ)

Кафедра Электронных приборы (ЭП)

Курс четвертый Семестр седьмой

**Учебный план набора 2014 года**

Экзамен – седьмой семестр

Разработчик  
Проф. каф. СВЧиКР  
\_\_\_\_\_ В.М. Шандаров

Заведующий кафедрой ЭП  
\_\_\_\_\_ С.М. Шандаров

Томск 2017

## 1 Введение

Фонд оценочных средств (ФОС) является приложением к рабочей программе дисциплины 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 (практикой) компетенций приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень закрепленных за дисциплиной компетенций

Код	Формулировка компетенции	Этапы формирования компетенции
ОПК-1	способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	<b>Должен знать</b> основные законы и соотношения волновой оптики и оптики направляющих диэлектрических структур; основы физики взаимодействия света со средой и нелинейной оптики; принципы работы, построения и характеристики волоконно-оптических элементов.
ОПК-2	способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	<b>Должен уметь</b> объяснять физические эффекты, лежащие в основе работы волоконно-оптических элементов и устройств; проводить компьютерное моделирование и проектирование оптических и волоконно-оптических элементов и устройств; пользоваться справочными данными по оптическим материалам и элементам при проектировании оптических приборов, сопоставляя особенности характеристик таких материалов и элементов. <b>Должен владеть</b> навыками чтения и изображения схем оптических приборов и систем на основе современной элементной базы волоконной оптики; навыками расчета, проектирования и компьютерного моделирования оптических и волоконно-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.

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

Таблица 2 – Общие характеристики показателей и критериев оценивания компетенций 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

**Компетенция ОПК-1:** способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики.

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. Экзамен.	Задачи. Оформление отчетности и защита лабораторных работ.	Защита лабораторных работ. Экзамен.

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

**Таблица 2 – 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.

**Компетенция ОПК-2:** способностью выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат.

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; 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. Экзамен.	Оформление отчетности и защита лабораторных работ.	Защита лабораторных работ. Экзамен.

Формулировка показателей и критериев оценивания данной компетенции приведена в таблице 6.

**Таблица 6 – Показатели и критерии оценивания компетенции на этапах**

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 элементам при проектировании волоконно-оптических приборов.	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 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 Типовые 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 (типовые) по элементарным знаниям и практическим навыкам по темам:**

#### 3.1. ТЕМА: Методики расчета характеристик дискретных оптических элементов волоконно-оптических устройств: поляризаторов, фазовых пластинок.

##### 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:

$$\vec{E} = \bar{x}_0 E_{mx} \cos(\omega t - kz) + \bar{y}_0 E_{my} \cos(\omega t - kz - \gamma)$$
 . Поскольку фазовый сдвиг между составляющими вектора  $\vec{E}$  вдоль этих осей равен 90°, а  $E_{my} = 0,5 E_{mx}$  то это соотношение принимает окончательный вид:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \bar{x}_0 E_{mx} \cos(\omega t - kz) + \bar{y}_0 \cdot 0,5 E_{mx} \sin(\omega t - kz) = \\ &= E_{mx} \cdot [\bar{x}_0 \cos(\omega t - kz) + 0,5 \bar{y}_0 \sin(\omega t - kz)] \end{aligned}$$

Таким образом, рассматриваемый случай соответствует плоской световой волне с эллиптической поляризацией, причем большая ось эллипса параллельна оси Y (поскольку  $E_{my} = 0,5 E_{mx}$ ).

##### Задача 2.

На пленочный поляризатор падает линейно поляризованный световой пучок мощностью 1 мВт, плоскость поляризации света отклонена от направления главной оси поляризатора на 30°. 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 поляризатор, 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 поляризатора, 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.

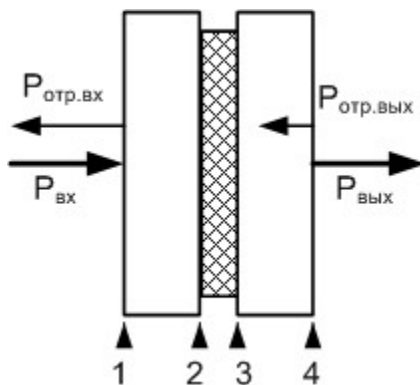


Рис. 1.2. Схема пленочного поляроида.

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  $P_{пр} = P_{над} \cdot (1-r)(1-r) = P_{над} \cdot (1-r)^2$ . Учет поворота главной оси поляроида относительно плоскости поляризации световой волны приводит это соотношение к виду:

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

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

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

### 3.2. ТЕМА: Расчет основных параметров волоконных световодов, параметров чувствительных элементов поляризационно-вращательного типа, характеристик датчиков.

#### 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 планарных волноводов и волоконных брэгговских решеток.

#### 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  $n_1=1,5$ . 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<sub>3</sub> моды равна 4,5 мкм.

**5. Темы лабораторных работ**

1. Исследование поляризационных свойств планарного оптического волновода в ниобате лития, полученного методом ионной имплантации
2. Исследование эффективности ввода света в волоконный световод.
3. Исследование волоконно-оптического датчика микроперемещений на основе полимерного оптического волокна

**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 методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков



и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций (согласно пункту 12 рабочей программы):

### **12.1 Основная литература**

1. В.М. Шандаров. Волоконно-оптические устройства технологического назначения. - Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, [Электронный ресурс]: учебное пособие - Томск: ТУСУР, 2012. - 198 с. Режим доступа <http://edu.tusur.ru/training/publications/741>

### **12.2 Дополнительная литература**

1. Б.А.Красюк, Г.И.Корнеев. Оптические системы связи и световодные датчики (вопросы технологии). - М.: Радио и связь, 1985. - 192 с. (6)

2. 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)

3. 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 волоконно - оптического датчика микроперемещений на основе полимерного оптического волокна: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/59>

2. Тренихин П. А., Шандаров В. М. Исследование эффективности ввода света в волоконный световод: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/120>

3 . Шандаров В. М., Круглов В. Г. Исследование поляризационных свойств планарного оптического волновода в ниобате лития, полученного методом ионной имплантации: [Электронный ресурс]: Методические указания к лабораторной работе - 2011. 7 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/62>

4. Шандаров В.М. Волоконно-оптические устройства и системы технологического назначения и управления: [Электронный ресурс]: Учебно-методическое пособие по практическим занятиям 2012. - 31 с. Режим доступа: <http://edu.tusur.ru/training/publications/742>

Методические указания по самостоятельной работе студентов приведены в Учебно-методическом пособии [4], Главы 1, 2, Стр. 4 - 28.