

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Нижегородский государственный технический университет
им. Р.Е. Алексеева» (НГТУ)

**Образовательно-научный институт ядерной энергетики и технической
физики им. академика Ф.М. Митенкова (ИЯЭиТФ)**

(Полное и сокращенное название института, реализующего данное направление)

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института:
_____ Легчанов М.А.

“20” июня 2023 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.Од.4 Квантовая волоконно-оптическая связь

для подготовки магистров

Направление подготовки: 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

Направленность: Квантовые технологии в инфокоммуникациях

Форма обучения: очная

Год начала подготовки 2023

Выпускающая кафедра ФТОС

Кафедра-разработчик ФТОС

Объем дисциплины 72/2
часов/з.е

Промежуточная аттестация зачёт (2 семестр)

Разработчик: Раевский А.С., д.ф.-м.н., профессор

2023 г.

Рабочая программа дисциплины: разработана в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования (ФГОС ВО 3++) по направлению подготовки 11.04.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, утвержденного приказом МИНОБРНАУКИ РОССИИ от 22 сентября 2017 года № 958 на основании учебного плана принятого УМС НГТУ, протокол от 16.03.2023 № 12.

Рабочая программа одобрена на заседании кафедры протокол от 01.06.2023 г. № 35.
Зав. кафедрой д.ф.-м.н., профессор, Раевский А.С. _____

(подпись)

Программа рекомендована к утверждению советом ИЯЭиТФ, протокол от 20.06.2023 г. № 5.

Рабочая программа зарегистрирована в УМУ, регистрационный № 11.04.02-К-14.
Начальник МО _____

Заведующая отделом комплектования НТБ

Кабанина Н.И.

(подпись)

Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ	3
1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
1.1. ЦЕЛЬ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
1.2. ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	4
2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ	4
3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	4
4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	8
4.1. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТРУДОЁМКОСТИ ДИСЦИПЛИНЫ ПО ВИДАМ РАБОТ ПО СЕМЕСТРАМ	8
4.2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ, СТРУКТУРИРОВАННОЕ ПО ТЕМАМ	9
5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	18
6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	22
6.1. УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, ПЕЧАТНЫЕ ИЗДАНИЯ БИБЛИОТЕЧНОГО ФОНДА	22
6.2. СПРАВОЧНО-БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ЛИТЕРАТУРА	23
6.3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ, РЕКОМЕНДАЦИИ И ДРУГИЕ МАТЕРИАЛЫ К ЗАНЯТИЯМ	25
7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ	25
7.1. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ», НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)	25
7.2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫХ СПРАВОЧНЫХ СИСТЕМ	26
8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ	26
9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ	27
10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ	28
10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии	28
10.2. Методические указания для занятий лекционного типа	29
10.3. Методические указания по освоению дисциплины на лабораторных работах	29
10.4. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях	29
10.5. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся	29
11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ	30
11.1. Типовые вопросы для лабораторных работ	30
11.2. Типовые вопросы для промежуточной аттестации в форме экзамена	30
11.3. Типовые задания для текущего контроля	33

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Целью освоения дисциплины являются формирование необходимых компетенций в области современных тенденций развития квантовой волоконно-оптической связи и её приложений.

1.2. Задачи освоения дисциплины (модуля):

- формирование общего понимания современных тенденций развития волоконно-оптических систем и устройств;
- формирование общего понимания функционирования квантового волоконно-оптического канала связи;
- изучение основных принципов, на которых основано действие функциональных волоконно-оптических устройств ;
- получение студентами знаний в области квантовой передачи информации в современных системах волоконно-оптической связи.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Учебная дисциплина «Квантовая волоконно-оптическая связь» включена в перечень дисциплин вариативной части (формируемой участниками образовательных отношений), определяющий направленность ОП. Дисциплина реализуется в соответствии с требованиями ФГОС, ОП ВО и УП.

Дисциплина базируется на следующих дисциплинах: «Основы физической и квантовой оптики», «Электромагнитные поля и волны», «Оптические направляющие среды», «Оптоэлектроника» в объёме программы бакалавриата и «Специальные разделы квантовой физики» в объёме программы данного профиля магистратуры.

Дисциплина «Квантовая волоконно-оптическая связь» является основополагающей для прохождения следующих видов практик: Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) (Б2.У.1), Преддипломная практика (Б2.П.3).

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1. Процесс изучения дисциплины (модуля) направлен на формирование следующих профессиональных компетенций в соответствии с ОПОП ВО по направлению 11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»:

ПКС-10 Способен выбирать и проводить сравнительный анализ вариантов проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов частот.

Формирование указанных компетенций размещено в таблице 1.

Таблица 1 - Формирование компетенций дисциплинами

Наименование дисциплин, формирующих компетенцию совместно	Семестры формирования дисциплины							
	1	2	3	4	5	6	7	8
ПКС-10								
<i>Квантовая волоконно-оптическая связь (Б1.В.ОД.4)</i>								
<i>Прикладная радиофотоника и квантовая оптоэлектроника (Б1.В.ОД.1)</i>								
<i>Получение волоконных световодов для квантовых коммуникаций (Б1.В.ОД.2)</i>								
<i>Специальности квантовой физики (Б1.В.ОД.3)</i>								
<i>Интегральная квантовая фотоника (Б1.В.ОД.6)</i>								
<i>Терагерцовая фотоника (Б1.В.ОД.7)</i>								
<i>Научно-исследовательская работа (получение первичных навыков научно-исследовательской работы) (Б2.У.1)</i>								
<i>Преддипломная практика (Б2.П.3)</i>								
<i>Выполнение и защита ВКР (Б3.Д.1)</i>								

3.2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения оп

Таблица 2 - Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Планируемые результаты обучения по дисциплине			Оценочные средства	
		Текущего контроля	Промежуточной аттестации			
ПКС-10. Способен выбирать и проводить сравнительный анализ вариантов проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов частот	ИПКС-10.1 Осваивает современные и перспективные направления систем связи квазиоптического и оптического диапазонов	Знать: <ul style="list-style-type: none"> - современное состояние и тенденции развития волоконно-оптических систем связи, в том числе с квантовой передачей ключа 			Темы докладов; Вопросы для групповых обсуждений	Вопросы для устного собеседования: билеты
	ИПКС-10.2 Анализирует и выбирает варианты проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов	Знать: <ul style="list-style-type: none"> - принципы действия современных и перспективных направляющих систем и функциональных устройств волоконно-оптического тракта, в том числе специфических для квантовой передачи ключа; - особенности передачи различных сигналов по каналам связи и трактам телекоммуникационных систем, в том числе однофotonных импульсов; - особенности структуры электромагнитного поля волн, распространяющихся в волокон- Уметь: <ul style="list-style-type: none"> - оценивать реальные и предельные возможности пропускной способности телекоммуникационных систем с учётом нелинейных и дисперсионных эффектов, а также предельные дальности распространения однофotonных импульсов 			Темы докладов; Вопросы для групповых обсуждений	Вопросы для устного собеседования: билеты

	<p>ных световодах различных типов;</p> <ul style="list-style-type: none"> - физические эффекты и процессы, лежащие в основе принципов действия функциональных устройств волоконно-оптического тракта, в том числе специфических для систем квантовой передачи ключа. 				
ИПКС-10.3 Использует современные инфокоммуникационные технологии и методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области систем связи			<p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> - навыками построения волоконно-оптических систем связи, в том числе с квантовой передачей ключа, на современных принципах; - современными методами проведения теоретических и экспериментальных исследований в научно-исследовательских работах в области волоконно-оптических систем связи, в том числе с квантовой передачей ключа. 	<p>Темы докладов; Вопросы для групповых обсуждений</p>	<p>Вопросы для устного собеседования: билеты</p>

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1. Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Общая трудоёмкость дисциплины составляет 2 зач.ед. (72 часа), распределение часов по видам работ и семестрам представлено в таблице 3.

Таблица 3 – Распределение трудоёмкости дисциплины по видам работ по семестрам

Вид учебной работы	Трудоёмкость в час		
	Всего	В т.ч. по семестрам	
		2 сем	
Формат изучения дисциплины	очная		
Общая трудоёмкость дисциплины по учебному плану	72	72	
1. Контактная работа:			
1.1. Аудиторная работа, в том числе:	34	34	
занятия лекционного типа (Л)	34	34	
занятия семинарского типа (ПЗ-семинары, практ. занятия и др)			
лабораторные работы (ЛР)			
1.2. Внеаудиторная, в том числе	38	38	
курсовая работа (проект) (КР/КП) (консультация, защита)	.		
текущий контроль, консультации по дисциплине	4	4	
контактная работа на промежуточном контроле (КРА)			
2. Самостоятельная работа (СРС)	34	34	
реферат/эссе (подготовка)			
расчётно-графическая работа (РГР) (подготовка)			
контрольная работа			
курсовая работа/проект (КР/КП) (подготовка)			
самостоятельное изучение разделов, самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников и учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиум и т.д.)	34	34	
Подготовка к экзамену (контроль)			

4.2. Содержание дисциплины, структурированное по темам

Таблица 4 - Содержание дисциплины, структурированное по темам

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)			
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)						
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия							
2 семестр											
ПКС-10	Раздел 1. Основы квантовой теории.										
	Тема 1.1. Алгебра операторов.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]			Конспект лекций 1. Диагностический безоценочный контроль, лучше взаимоконтроль; 2. Разноуровневые качественные, расчетные задания; 3. Блиц-опрос. При изучении нового материала-слайд показ. Это создает единую активную познавательную среду, в которой учитель серией умело подобранных вопросов и заданий возбуждает и направляет мысль обучающихся к новым теоретическим выводам. Далее в ходе закрепления уточняет, корректирует		
	Тема 1.2. Суперпозиция состояний.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]					
	Тема 1.3. Операторы физических величин.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]					
	Тема 1.4. Спин электрона.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]					
	Тема 1.5. Матрица плотности.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]					
	Самостоятельная работа по освоению 1 раздела:				5,0						
	Итого по 1 разделу:	5,0			5,0						
	Раздел 2. Квантовая модель информационных систем.										
	Тема 2.1. Квантовые компьютерные технологии.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]					
	Тема 2.2. Квантовые алгоритмы.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]					
	Тема 2.3. Квантовая плотная кодировка и квантовая телепортация	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]					

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)		
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)					
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия						
	ция.									
	Тема 2.4. Протоколы квантового распределения ключа.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]				
	Тема 2.5. Атаки на квантовые каналы.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.6], [6.1.7], [6.1.8]				
	Самостоятельная работа по освоению 2 раздела:				5,0					
	Итого по 2 разделу:	5,0			5,0					
	Раздел 3. Волоконные световоды как среда передачи информации.									
	Тема 3.1. Основное уравнение распространения импульсов в волоконном световоде.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				
	Тема 3.2. Запись уравнения в бегущих координатах. Смысл каждого слагаемого в уравнении.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				
	Самостоятельная работа по освоению 3 раздела:				2,0					
	Итого по 3 разделу:	2,0	--		2,0					
	Раздел 4. Дисперсия в волоконных световодах.									
	Тема 4.1. Основное уравнение распространения без учёта нелинейных эффектов.	0,5			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4], [6.2.2]				
	Тема 4.2. Дисперсионное уширение импульсов. Импульсы гауссовой и супергауссовой формы.	0,5			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.1], [6.1.2], [6.1.4], [6.2.2]				
	Тема 4.3. Дисперсия высшего порядка.	0,5			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)		
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)					
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия						
	Тема 4.4. Учёт влияния дисперсии при проектировании волоконно-оптических линий связи.	0,5			0,5	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.1.5], [6.2.1], [6.2.2]				
	Самостоятельная работа по освоению 4 раздела:				2,0					
	Итого по 4 разделу	2,0	--		2,0					
	Раздел 5. Нелинейные эффекты в волоконных световодах.									
	Тема 5.1. Фазовая самомодуляция. Спектральное уширение импульса.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				
	Тема 5.2. Совместное влияние фазовой самомодуляции и дисперсии групповых скоростей.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				
	Тема 5.3. Образование ударной волны огибающей.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				
	Тема 5.4. Модуляционная неустойчивость.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				
	Тема 5.5. Фундаментальные солитоны и солитоны высших порядков.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				
	Тема 5.6. Фазовая кросомодуляция.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				
	Тема 5.7. Вынужденное комбинированное рассеяние (ВКР).	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				
	Тема 5.8. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Брillлюэна (ВРМБ).	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				
	Тема 5.9. Параметрические процессы.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.4], [6.2.2]				
	Самостоятельная работа по				9,0					

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)		
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)					
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия						
	освоению 5 раздела:									
	Итого по 5 разделу:	9,0			9,0					
	Раздел 6. Микроструктурированные волоконные световоды.									
	Тема 6.1. Микроструктурированные волоконные световоды.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.1.5], [6.1.4]				
	Самостоятельная работа по освоению 6 раздела:				1,0					
	Итого по 6 разделу:	1,0			1,0					
	Раздел 7. Внутриволоконные решётки показателя преломления.									
	Тема 7.1. Волоконные брэгговские решётки.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.2.4], [6.1.5]				
	Тема 7.2. Длиннопериодные волоконные решётки.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.2.4], [6.1.5]				
	Самостоятельная работа по освоению 7 раздела:				2,0					
	Итого по 7 разделу:	2,0			2,0					
	Раздел 8. Металлооптика.									
	Тема 8.1. Поверхностные плазмон-поляритонные волны.	1,0			1,0	Подготовка к лекции [6.2.3]				
	Тема 8.2. Плазмонные эффекты в наночастицах.	1,0			1,0	Подготовка к лекции [6.2.3]				
	Самостоятельная работа по освоению 8 раздела:				2,0					
	Итого по 8 разделу:	2,0			2,0					
	Раздел 9. Элементная база квантовых систем связи.									
	Тема 9.1. Оптические аттенюаторы. Статистика одиночных фотонов.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.2.5], [6.2.6]				

Планируемые (контролируемые) результаты освоения: код УК; ОПК; ПК и индикаторы достижения компетенций	Наименование разделов, тем	Виды учебной работы (час)				Вид СРС	Наименование используемых активных и интерактивных образовательных технологий	Наименование разработанного Электронного курса (трудоемкость в часах)		
		Контактная работа			Самостоятельная работа студентов (час)					
		Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия						
	Тема 9.2. Детекторы одиночных фотонов.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.2.5], [6.2.6]				
	Тема 9.3. Поляризаторы. Циркуляторы.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.2.5], [6.2.6]				
	Тема 9.4. Оптические модуляторы.	1,0			1,0	Подготовка к лекциям [6.2.5], [6.2.6]				
	Тема 9.5. Схемы построения волоконно-оптических систем передачи квантового ключа.	2,0			2,0	Подготовка к лекциям [6.2.5], [6.2.6]				
	Самостоятельная работа по освоению 9 раздела:				6,0					
	Итого по 9 разделу:	6			6					
	ИТОГО по дисциплине	34			34					

5. ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ И ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.

Для осуществления текущего контроля знаний обучающихся сформулированы теоретические вопросы по темам практических и лекционных занятий.

Также сформирован перечень вопросов, выносимых на промежуточную аттестацию в форме зачёта во 2 семестре.

Указанный комплект оценочных средств является неотъемлемой частью фонда оценочных средств и хранится на кафедре «Физика и техника оптической связи».

Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели) и оценка выполнения лабораторных работ приведено в таблице 5.

Таблица 5 – Описание показателей и критериев контроля успеваемости, описание шкал оценивания при текущем контроле (контрольные недели)

Шкала оценивания	Контрольная неделя	Зачет
40<R≤50	Отлично	зачет
30<R≤40	Хорошо	
20<R≤30	Удовлетворительно	
0<R≤20	Неудовлетворительно	

При промежуточном контроле успеваемость студентов оценивается в виде оценки «зачет»/«незачет».

Таблица 6 - Критерии оценивания результата обучения по дисциплине и шкала оценивания

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Критерии оценивания результатов обучения			
		Оценка «неудовлетворительно» / «не засчитено» 0-59% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «удовлетворительно» / «засчитено» 60-74% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «хорошо» / «засчитено» 75-89% от max рейтинговой оценки контроля	Оценка «отлично» / «засчитено» 90-100% от max рейтинговой оценки контроля
ПКС-10. Способен выбирать и проводить сравнительный анализ вариантов проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов частот	ИПКС-10.1 Осваивает современные и перспективные направления систем связи квазиоптического и оптического диапазонов, в том числе с квантовой передачей ключа.	Не знаком с основными тенденциями развития систем связи квазиоптического и оптического диапазонов, в том числе с квантовой передачей ключа.	Слабо знаком с основными тенденциями развития систем связи квазиоптического и оптического диапазонов, в том числе с квантовой передачей ключа.	Знаком с основными тенденциями развития систем связи квазиоптического и оптического диапазонов, в том числе с квантовой передачей ключа.	Хорошо знаком с основными тенденциями развития систем связи квазиоптического и оптического диапазонов, в том числе с квантовой передачей ключа.
	ИПКС-10.2 Анализирует и выбирает варианты проектирования пассивных и активных устройств оптического и квазиоптического диапазонов.	Не знает принципы действия современных и перспективных направляющих систем и функциональных устройств волоконно-оптического тракта, в том числе специфических для квантовой передачи ключа. Не знаком с особенностями передачи различных сигналов по каналам связи и трактам телекоммуникационных систем, в том числе однофотонных импульсов. Не знаком с особенностями структуры электромагнитного поля волн, распространяющихся в волоконных световодах различных типов. Не может объяснить фи-	Не уверенко знает принципы действия современных и перспективных направляющих систем и функциональных устройств волоконно-оптического тракта, в том числе специфических для квантовой передачи ключа. Не знаком с особенностями передачи различных сигналов по каналам связи и трактам телекоммуникационных систем, в том числе однофотонных импульсов. Отчасти знаком с особенностями структуры электромагнитного поля волн, распространяющихся в волоконных световодах различных типов.	Знает основные принципы действия современных и перспективных направляющих систем и функциональных устройств волоконно-оптического тракта, в том числе специфических для квантовой передачи ключа. Знаком с особенностями передачи различных сигналов по каналам связи и трактам телекоммуникационных систем, в том числе однофотонных импульсов.	Хорошо знает принципы действия современных и перспективных направляющих систем и функциональных устройств волоконно-оптического тракта, в том числе специфических для квантовой передачи ключа. Хорошо знаком с особенностями передачи различных сигналов по каналам связи и трактам телекоммуникационных систем, в том числе однофотонных импульсов.

Таблица 7 – Критерии оценивания

Оценка	Критерии оценивания
Высокий уровень «5» (отлично)	оценку «отлично» заслуживает студент, освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал без пробелов; выполнивший все задания, предусмотренные учебным планом на высоком качественном уровне; практические навыки профессионального применения освоенных знаний сформированы.
Средний уровень «4» (хорошо)	оценку «хорошо» заслуживает студент, практически полностью освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не оценены максимальным числом баллов, в основном сформировал практические навыки.
Пороговый уровень «3» (удовлетворительно)	оценку «удовлетворительно» заслуживает студент, частично с пробелами освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, многие учебные задания либо не выполнил, либо они оценены числом баллов близким к минимальному, некоторые практические навыки не сформированы.
Минимальный уровень «2» (недовлетворительно)	оценку «неудовлетворительно» заслуживает студент, не освоивший знания, умения, компетенции и теоретический материал, учебные задания не выполнил, практические навыки не сформированы.

6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

6.1. Учебная литература, печатные издания библиотечного фонда

Библиотечный фонд укомплектован печатными изданиями из расчета не менее 0,25 экземпляра каждого из изданий, указанных ниже на каждого обучающегося из числа лиц, одновременно осваивающих соответствующую дисциплину (модуль).

№	Библиографическое описание (автор, заглавие, вид издания, место, издательство, год издания, количество страниц)	
1	2	
6.1.1	Гурьянов, А.Н. Физические и физико-химические основы получения волоконных световодов: Учеб. пособие / Гурьянов, А.Н., Раевский А.С.; ННГУ. Н.Новгород: [Б.и.], 2011. – 147 с.	
6.1.2	Гурьянов, А.Н. Получение волоконных световодов и исследование их характеристик / Учеб. пособие/ А.Н. Гурьянов, А.Н. Абрамов, Н.Н. Вечканов и др. – Н.Новгород, 2014. – 82 с.	
6.1.3	Гордиенко, В.Н. и др. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов / В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалев, А.Д. Моченов, Р.М. Шарафутдинов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2011. – 368 с.	
6.1.4	Агравал, Г. Применение нелинейной волоконной оптики: Учеб. пособие: перевод / Агравал Говинд; Денисюк И.Ю. (науч. ред.). СПб.: Лань, 2011. -591 с.	
6.1.5	Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые	

	перспективы. 3-е изд., перераб. и доп. / Сб. статей под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. М.: Техносфера, 2010. – 608 с.
6.1.6.	Запрягаев С.А. Квантовые информационные системы. Теория и практика применения. – СПб.: БХВ-Петербург, 2023. – 320 с.
6.1.7.	Холево А.С. Введение в квантовую теорию информации. – М.: МЦНМО, 2002. – 128 с.
6.1.8.	Бауместер Д., Экерт А., Цайлингер А. Физика квантовой информации. – М.: Постмаркет, 2002. – 376 с.
6.2.1	Скляров, О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. СПб, М., Краснодар: Лань, 2010.- 267 с.
6.2.2	Агравал, Г. Нелинейная волоконная оптика. М.: Мир, 1996. – 323 с. http://nashol.com/2014110180361/nelineinaya-volokonnaya-optika-agraval-g-1996.html
6.2.3	Климов, В.В. Наноплазмоника. М.: Физматлит, 2009. – 480 с. http://nashol.com/2014051977463/nanoplazmonika-klimov-v-v-2009.html
6.2.4	Запись волоконных брэгговских решёток в схеме с интерферометром Ллойда и моделирование их спектральных свойств: Препринт НЦВО при ИОФ РАН / О.И. Медведков, И.Г. Королёв, С.А. Васильев. – М.: 2004. – 46 с. – Библиогр.: с.45-46. http://lib.fibopt.ru
6.2.5	Журнал «Квантовая электроника». http://www.quantum-electron.ru/pa.phtml?page=onlcont
6.2.6	Журнал IEEE «Lightwave Technology». http://www.ieee.org

6.3. Методические указания, рекомендации и другие материалы к занятиям

Методические указания и рекомендации по проведению конкретных видов учебных занятий по дисциплине «Квантовая волоконно-оптическая связь» находятся на кафедре «ФТОС».

6.3.1. Методические рекомендации по организации аудиторной работы по дисциплине «Проблемы современной волоконной оптики».

6.3.2. Методические рекомендации по организации и планированию самостоятельной работы по дисциплине «Квантовая волоконно-оптическая связь»

7. ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Учебный процесс по дисциплине обеспечен необходимым комплектом лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения, в том числе отечественного производства (состав по дисциплине определен в настоящей РПД и подлежит обновлению при необходимости).

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

- Научная электронная библиотека E-LIBRARY.ru. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/defaultx.asp>
- Электронная библиотечная система Поволжского государственного университета сервиса [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://elib.tolgas.ru/> - Загл. с экрана.

3. Электронно-библиотечная система Znarium.com [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://znarium.com/>. – Загл. с экрана.
4. Открытое образование [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://openedu.ru/>. - Загл с экрана.
5. Polpred.com. Обзор СМИ. Полнотекстовая, многоотраслевая база данных (БД) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://polpred.com/>. – Загл. с экрана.
6. Базы данных Всероссийского института научной и технической информации (ВИНИТИ РАН) по естественным, точным и техническим наукам Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.viniti.ru>. – Загл. с экрана.
7. Университетская информационная система Россия [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://uisrussia.msu.ru/>. – Загл. с экрана.

7.2. Перечень программного обеспечения и информационных справочных систем

Таблица 8 – Перечень электронных библиотечных систем

№	Наименование ЭБС	Ссылка, по которой осуществляется доступ к ЭБС
1	Консультант студента	http://www.studentlibrary.ru/
2	Лань	https://e.lanbook.com/
3	Юрайт	https://biblio-online.ru/

В таблице 9 указан перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем, к которым обеспечен доступ (удаленный доступ). Данный перечень подлежит обновлению в соответствии с требованиями ФГОС ВО.

Таблица 9 - Перечень современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем

№	Наименование профессиональной базы данных, информационно-справочной системы	Доступ к ресурсу (удаленный доступ с указанием ссылки/доступ из локальной сети университета)
1	2	3
1	База данных стандартов и регламентов РОС-СТАНДАРТ	https://www.gost.ru/portal/gost//home/standarts
2	Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем	https://cyberpedia.su/21x47c0.html

8. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ ДЛЯ ИНВАЛИДОВ И ЛИЦ С ОВЗ

В таблице 10 указан перечень образовательных ресурсов, имеющих формы, адаптированные к ограничениям их здоровья, а также сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования. При заполнении таблицы может быть использована информация, размещенная в подразделе «Доступная

среда» специализированного раздела сайта НГТУ «Сведения об образовательной организации» <https://www.nntu.ru/sveden/accenv/>

Таблица 10 - Образовательные ресурсы для инвалидов и лиц с ОВЗ

№	Перечень образовательных ресурсов, приспособленных для использования инвалидами и лицами с ОВЗ	Сведения о наличии специальных технических средств обучения коллективного и индивидуального пользования
1	ЭБС «Консультант студента»	озвучка книг и увеличение шрифта
2	ЭБС «Лань»	специальное мобильное приложение - синтезатор речи, который воспроизводит тексты книг и меню навигации
3	ЭБС «Юрайт»	версия для слабовидящих

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, НЕОБХОДИМОЕ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Для контактной и самостоятельной работы обучающихся выделены помещения, оснащённые компьютерной техникой с подключением к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации:

- зал электронно-информационных ресурсов (ауд. 2210 – 11 компьютеров, ауд. 6119 – 9 компьютеров);
- читальный зал открытого доступа (ауд. 6162 – 2 компьютера);
- ауд. 2303, 2202, оборудованные Wi-Fi.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ОБУЧАЮЩИМСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

10.1. Общие методические рекомендации для обучающихся по освоению дисциплины, образовательные технологии

Дисциплина реализуется посредством проведения контактной работы с обучающимися (включая проведение текущего контроля успеваемости), самостоятельной работы обучающихся и промежуточной аттестации.

Контактная работа: аудиторная, внеаудиторная.

При преподавании дисциплины «Квантовая волоконно-оптическая связь», используются современные образовательные технологии, позволяющие повысить активность студентов при освоении материала курса и предоставить им возможность эффективно реализовать часы самостоятельной работы.

Для студентов создан краткий опорный электронный вариант лекционного материала курса. Электронный конспект находится на кафедре «ФТОС» и может быть получен студентом в случае пропусков занятий по уважительным причинам или вынужденного перевода занятий в дистанционную форму.

На лекциях реализуются интерактивные технологии, приветствуются вопросы и обсуждения, используется личностно-ориентированный подход, технология работы в малых группах, что позволяет студентам проявить себя, получить навыки самостоятельного изучения материала, выровнять уровень знаний в группе.

Все вопросы, возникшие при самостоятельной работе, подробно разбираются на лекциях. Проводятся индивидуальные и групповые консультации с использованием, как встреч студентами, так и современных информационных технологий: чат, электронная почта, Skype, Zoom.

Инициируется активность студентов, поощряется задание любых вопросов по материалу, практикуется индивидуальный ответ на вопросы студента, рекомендуются методы успешного самостоятельного усвоения материала в зависимости от уровня его базовой подготовки.

Для оценки знаний, умений, навыков и уровня сформированности компетенций применяется балльно-рейтинговая система контроля и оценки успеваемости студентов в процессе текущего контроля.

Промежуточная аттестация проводится в форме зачета с учетом текущей успеваемости.

Результат обучения считается сформированным на повышенном уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент исчерпывающе, последовательно, четко и логически излагает учебный материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, использует в ответе дополнительный материал. Все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты, проявляет самостоятельность при выполнении заданий.

Результат обучения считается сформированным на пороговом уровне, если теоретическое содержание курса освоено полностью. При устных собеседованиях студент последовательно, четко и логически стройно излагает учебный материал; справляется с задачами, вопросами и другими видами заданий, требующих применения знаний; все предусмотренные рабочей учебной программой задания выполнены в соответствии с установленными требованиями, студент способен анализировать полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий

Результат обучения считается несформированным, если студент при выполнении заданий не демонстрирует знаний учебного материала, допускает ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет задания, не демонстрирует необходимых умений, качество выполненных заданий не соответствует установленным требованиям, качество их выполнения оценено числом баллов ниже трех по оценочной системе, что соответствует допороговому уровню.

10.2. Методические указания для занятий лекционного типа

Лекционный курс предполагает систематизированное изложение основных вопросов тематического плана. В ходе лекционных занятий раскрываются базовые вопросы в рамках каждой темы дисциплины (Таблица 4). Обозначаются ключевые аспекты тем, а также делаются акценты на наиболее сложные и важные положения изучаемого материала. Материалы лекций являются опорной основой для подготовки обучающихся к практическим занятиям и выполнения заданий самостоятельной работы, а также к мероприятиям текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации по дисциплине.

10.3. Методические указания по освоению дисциплины на практических занятиях

Практические занятия не предусмотрены.

10.4. Методические указания по самостоятельной работе обучающихся

Самостоятельная работа обеспечивает подготовку обучающегося к аудиторным за-

нятиям и мероприятиям текущего контроля и промежуточной аттестации по изучаемой дисциплине. Результаты этой подготовки проявляются в активности обучающегося на занятиях и в качестве выполненных практических заданий и других форм текущего контроля.

При выполнении заданий для самостоятельной работы рекомендуется проработка материалов лекций по каждой пройденной теме, а также изучение рекомендуемой литературы, представленной в Разделе 6.

В процессе самостоятельной работы при изучении дисциплины студенты могут работать на компьютере в специализированных аудиториях для самостоятельной работы (указано в таблице 11). В аудиториях имеется доступ через информационно-телекоммуникационную сеть «Интернет» к электронной информационно-образовательной среде университета (ЭИОС) и электронной библиотечной системе (ЭБС), где в электронном виде располагаются учебные и учебно-методические материалы, которые могут быть использованы для самостоятельной работы при изучении дисциплины.

Развернутые методические указания по всем видам работы студента находятся на кафедре «ФТОС».

11. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта в ходе текущего контроля успеваемости

Для текущего контроля знаний студентов по дисциплине проводится комплексная оценка знаний, включающая:

- проведение теоретических опросов;
- выступление обучающихся с докладами.

11.1. Типовые вопросы к зачёту, проводимому во 2 семестре

1. Понятие бра- и кет-векторов. Операции с ними.
2. Суперпозиция состояний.
3. Понятие «кубит».
4. Запутанность состояний.
5. Понятие «спин».
6. Измерение спина.
7. Матрицы Паули. Их свойства.
8. Чистые и смешанные состояния.
9. Спиновая матрица плотности.
10. Сфера Блоха.
11. Квантовый интерферометр.
12. Квантовый регистр.
13. Невозможность клонирования кубита.
14. Квантовые алгоритмы.
15. Квантовый канал связи.

16. Квантовая телепортация.
17. Сверхплотное кодирование.
18. Протокол квантового распределения ключа BB84.
19. Протокол квантового распределения ключа B92.
20. Атаки на протоколы распределения ключа.
21. Что такое «бегущие координаты»?
22. Какой смысл каждого из членов обобщённого уравнения распространения импульсов?
23. Что такое «дисперсионная длина»?
24. Когда можно применять основное уравнение распространения импульсов без учёта нелинейных эффектов?
25. В чём специфика применения модели распространения гауссова импульса по ВС при учёте дисперсии?
26. В чём заключается специфика распространения ЛЧМ-гауссова импульса при учёте дисперсии?
27. В чём различие трансформации формы гауссова и супергауссова импульсов под влиянием дисперсии?
28. Что такое «дисперсия высшего порядка» и когда необходимо её учитывать?
29. Чем отличается трансформация формы гауссова импульса под влиянием дисперсии высшего порядка?
30. Как определить предел допустимой скорости передачи информации на заданной длине волоконно-оптической линии связи при заданном коэффициенте дисперсии?
31. Методика ступенчатой аппроксимации произвольного профиля показателя преломления.
32. Методика расчёта коэффициента дисперсии на основе расчёта дисперсионной характеристики основной волны.
33. В чём специфика уширения гауссова импульса под влиянием ФСМ?
34. В чём специфика уширения супергауссова импульса под влиянием ФСМ?
35. В чём отличие трансформации гауссова импульса при учёте ФСМ?
36. В чём особенность спектра гауссова импульса под воздействием ФСМ и дисперсии одновременно?
37. В чём заключается эффект образования ударной волны огибающей?
38. От чего зависит крутизна фронта волны при распространении сверхкоротких импульсов по ВС?
39. Что такое «модуляционная неустойчивость»?
40. Сформулируйте условия возникновения модуляционной неустойчивости в ВС.
41. Что такое «фундаментальный солитон»?
42. Что такое «солитон высшего порядка»?
43. В чём специфика трансформации солитона высшего порядка в пределах периода солитона?
44. Чем обусловлено явление ФКМ?

45. В чём специфика взаимодействия волн, имеющих различные частоты?
46. Чем отличается ВКР от комбинационного рассеяния?
47. В чём отличие ВРМБ от ВКР?
48. Причина возникновения параметрических процессов в волоконных световодах.
49. Принцип действия параметрических усилителей.
50. Принцип действия солитонного лазера.
51. Применения солитонных лазеров.
52. Условия, необходимые для распространения солитона по ВОЛС.
53. Область применения солитонных ВОЛС.
54. Волоконно-решёточные компрессоры.
55. Многосолитонные компрессоры.
56. Объяснить принцип действия ВКР-лазера.
57. Объяснить принцип действия ВКР-усилителя.
58. Область применения ВРМБ-лазеров.
59. Область применения ВРМБ-усилителей.
60. Принцип действия параметрических усилителей.
61. Применение параметрических усилителей.
62. Условия, накладываемые на мощность излучения, вводимого в каждый канал систем DWDM.
63. Причины возникновения помех в результате нелинейного взаимодействия частотных каналов.
64. Многосердцевинные волоконные световоды.
65. Принцип действия брэгговских волоконных световодов.
66. Дисперсия и нелинейные эффекты в «дырячих» волоконных световодах.
67. Принцип действия волоконных брэгговских решёток.
68. Расчёт спектральных характеристик волоконных брэгговских решёток.
69. Методы изготовления волоконных брэгговских решёток.
70. Применения волоконных брэгговских решёток.
71. Принцип действия длиннопериодных волоконных решёток.
72. Расчёт спектральных характеристик длиннопериодных волоконных решёток.
73. Методы изготовления длиннопериодных волоконных решёток.
74. Применения длиннопериодных волоконных решёток.
75. Свойства металлов на оптических частотах.
76. Принципиальные особенности поверхностных плазмон-поляритонных волн.
77. Поверхностные плазмон-поляритонные волны на поверхностях тонких плёнок.
78. Поверхностные плазмон-поляритонные волны на поверхностях наностержней.
79. Датчики на поверхностных плазмон-поляритонных волнах.

80. Плазмонный резонанс.
81. Наноантенны.
82. Способы получения однофотонных импульсов.
83. Пуассоновская статистика фотонов в импульсе.
84. Принцип действия детектора одиночных фотонов.
85. Оптические поляризаторы.
86. Интерферометр Маха-Цендера.
87. Устройство и принцип работы амплитудного оптического модулятора.
88. Устройство и принцип работы оптического циркулятора.
89. Способы несанкционированного подключения к квантовому каналу связи.
90. Способы обнаружения несанкционированного подключения к квантовому каналу связи.

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института ИЯЭиТФ

“ ____ ” 20 ____ г.

Лист актуализации рабочей программы дисциплины

« _____ »

индекс по учебному плану, наименование

для подготовки бакалавров/ специалистов/ магистров

Направление: {шифр – название} _____

Направленность: _____

Форма обучения _____

Год начала подготовки: _____

Курс _____

Семестр _____

а) В рабочую программу не вносятся изменения. Программа актуализирована для 20 ____ г. начала подготовки.

б) В рабочую программу вносятся следующие изменения (указать на какой год начала подготовки):

1);

2);

3)

Разработчик (и): _____
(ФИО, ученая степень, ученое звание)

«__»____2021_г.

Рабочая программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ФТОС

_____ протокол № _____ от «__»____2021_г.

Заведующий кафедрой _____

Лист актуализации принят на хранение:

Заведующий выпускающей кафедрой ФТОС _____ «__»____2020_г.

Методический отдел УМУ: _____ «__»____2020_г.