

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский национальный исследовательский государственный университет»
(Новосибирский государственный университет, НГУ)

**Физический факультет
Кафедра Квантовой оптики**



**Рабочая программа дисциплины
ВОЛОКОННАЯ ОПТИКА 2**

Направление подготовки: **03.04.02 Физика**

Направленность (профиль): **Физика. Общая и фундаментальная физика**

Форма обучения **Очная**

Семестр	Общий объем	Виды учебных занятий (в часах)				Итоговая аттестация (в часах)				
		Контактная работа обучающихся с преподавателем			Самостоятельная работа, не включая период сессии	Самостоятельная подготовка к итоговой аттестации	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия			Консультации	Зачет	Дифференцированный зачет	Экзамен
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	72	32			18	18	2			2
Всего 72 часа / 2 зачётных единицы, из них: - контактная работа 36 часов										
Компетенции ПК-1										

Руководитель программы
д.ф.-м.н.

И.Б. Логашенко

Новосибирск, 2026

Содержание

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.	3
2. Место дисциплины в структуре образовательной программы:	3
3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.	4
4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.	4
5. Перечень учебной литературы.	6
6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.	6
7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.	6
8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.	7
9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.	7
10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и итоговой аттестации по дисциплине.	7

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

Цель курса – овладение основными понятиями, моделями, теоретическими и экспериментальными методами волоконной оптики.

Дисциплина нацелена на формирование у обучающегося профессиональной компетенции:

Результаты освоения образовательной программы (компетенции)	Индикаторы	Результаты обучения по дисциплине
ПК-1 Способен использовать специализированные знания в области физики при решении поставленных задач в научно-исследовательской деятельности в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования. ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать теоретические основы волоконной оптики, технику волоконно-оптического эксперимента и основы базовых технологий, основные физические процессы, связанные с распространением света в волоконных световодах, как линейные, так и нелинейные. Уметь объяснить принципы работы основных волоконно-оптических устройств и волоконно-оптических систем, в т.ч. систем связи и сенсорных систем на основе точечных (ВБР) и распределенных волоконных датчиков. Владеть выводом и решением нелинейного уравнения Шредингера, понятием солитона, описанием нелинейных эффектов при распространении коротких импульсов света в волоконных световодах и при преобразовании света (ВКР, ВРМБ).

2. Место дисциплины в структуре образовательной программы:

Дисциплина «**Волоконная оптика 2**» реализуется в весеннем семестре 1-го курса для магистрантов, обучающихся по направлению подготовки **03.04.02 Физика**. Курс является одной из профессиональных дисциплин по выбору, реализуемых кафедрой квантовой оптики. Для его восприятия требуется предварительная подготовка студентов по таким физическим дисциплинам как основы квантовой механики и статистической физики, физическая оптика, а также по математике (основы математического анализа и линейной алгебры).

Курс предназначен для магистрантов, область будущей профессиональной деятельности которых включает:

- научные исследования, метрологию и инженерную деятельность с использованием методов волоконной оптики;
- исследования процессов взаимодействия оптического излучения с веществом;
- научные и технологические разработки в области волоконных лазерных систем.

3. Трудоёмкость дисциплины в зачётных единицах с указанием количества академических часов, выделенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу.

Трудоёмкость дисциплины составляет: 2 зачётные единицы, 72 часа.

Форма промежуточной аттестации: 1 семестр – экзамен.

№		Вид деятельности	Семестр
			1
1		Лекции, ч	32
2		Практические занятия, ч	-
3		Лабораторные занятия, ч	-
4		Занятия в контактной форме, ч из них	36
5		аудиторных занятий, ч	32
6		в электронной форме, ч	-
7		консультаций, час.	2
8		промежуточная аттестация, ч	2
9		Самостоятельная работа, час.	36
10		Всего, ч	72

4. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведённого на них количества академических часов и видов учебных занятий.

Программа и основное содержание лекций (32 часа)

Раздел 1. Волоконно-оптические датчики на основе ВБР (2 часа)

Краткая связь с первым семестром. Возможности практических применений волоконной оптики. Точечные датчики температуры и деформаций на основе ВБР. Численные коэффициенты, оценки чувствительности. Методы детектирования. Спектральное и временное мультиплексирование ВБР. Распределённые мультисенсорные системы. Применения ВБР-датчиков: скважины, шахты, генераторы, объекты инфраструктуры.

Раздел 2. Распределенные волоконно-оптические датчики (2 часа)

Волоконно-оптический рефлектометр. Фазочувствительный рефлектометр. Распределенные системы регистрации внешних воздействий. Распределенный датчик температуры на основе ВКР. Датчики на основе ИФП: принцип, формулы, оценки, методы детектирования, параметры. Другие ВО датчики. Применения волоконно-оптических датчиков: объекты инфраструктуры, скважины, охраняемые системы, биомедицина.

Раздел 3. Дисперсия и нелинейность, типы волокон (2 часа)

Дисперсия в волокне. Материальная дисперсия, уравнение Зелмейера. Волноводная дисперсия. Нормальная и аномальная дисперсии. Одномодовые и многомодовые волокна. Межмодовая дисперсия. Типы нелинейностей в световодах: ВРМБ и ВКР, керровская нелинейность (SPM, XPM, FWM). Специальные волокна: со сглаженной и сдвинутой дисперсией, с высокой и низкой нелинейностью.

Раздел 4. Теория линейных эффектов в оптоволокне (2 часа)

Линейное уравнение Шредингера.

Раздел 5. Теория нелинейных эффектов в оптоволокне (2 часа)

Важность нелинейных эффектов в оптоволокне. Теория нелинейных эффектов. Обобщённое нелинейное уравнение Шредингера. Классификация эффектов.

Раздел 6. Самомодуляция фазы (2 часа)

Фазовая кросс-модуляция. Модуляционная неустойчивость. Поляризационные эффекты.

Раздел 7. ВРМБ (2 часа)

Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ). История эффекта. Стоксов сдвиг. Линия усиления. Порог ВРМБ. Истощение накачки. Насыщение усиления. ВРМБ-зеркало. Стоксовы линии высоких порядков. Волоконный ВРМБ-лазер и волоконный ВРМБ-усилитель. Нежелательные проявления.

Раздел 8. ВКР (2 часа)

Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР). История ВКР. Описание процесса. Стоксов сдвиг и линия усиления. Порог ВКР. Волоконный ВКР-лазер. Устройство. Принцип работы. Достижимые параметры. Истощение накачки и последовательное насыщение мощности стоксовых волн. Моды ВКР-лазера. Сверхдлинный волоконных ВКР-лазер. Формирование спектра генерации за счет волновой турбулентности.

Раздел 9. Удвоение частоты волоконных лазеров (4 часа)

Волоконные лазеры видимого диапазона на основе ап-конверсии. Удвоение частоты волоконных лазеров. Периодически ориентированные кристаллы. Однопроходная схема. Внутррезонаторное удвоение. Удвоение большого количества мод со случайной фазой. Генерация второй гармоники в волокне.

Раздел 10. Основные типы усилителей и их характеристики (2 часа)

Типы усилителей: полупроводниковые, волоконные (редкоземельные элементы, ВКР, ВРМБ, параметрические), твердотельные и т.д. Применения усилителей различных типов. Усилители в телекоммуникации: на выходе передатчика, промежуточные, перед приемником. Ограничения. Преимущества по сравнению с регенераторами. Характеристики усилителей: количественные и коэффициенты качества. Ширина полосы усиления: зависимость от коэффициента усиления. Мощность насыщения на примере 2-х уровневой системы (повторение). Преимущества по сравнению с полупроводниковыми усилителями. Оценка для запасенной энергии.

Раздел 11. Волоконные усилители (2 часа)

Телекоммуникационные диапазоны. Эрбиевые волокна для С и L-диапазонов: спектральные характеристики усиления и поглощения, различие параметров. Мощность накачки, длина, коэффициент усиления и рабочие длины волн: графики. Схемы двухдиапазонных усилителей. Отношение сигнал/шум. Спонтанное излучение: излучение в одну поперечную моду. Связь времени жизни и сечения вынужденного излучения. Минимальное увеличение шума: шумовой коэффициент. Почему для приемника плох фон. Другие редкоземельные элементы. Длины волн (напоминание). Усиление излучения волоконных непрерывных и импульсных лазеров. Влияние ВРМБ на параметры усилителей. Способы подавления ВРМБ. Волоконный ВКР-усилитель. Оценки мощности накачки для сосредоточенного и распределенного усилителя. Преимущества распределенных усилителей.

Раздел 12. Основы волоконно-оптической связи (4 часа)

Основные элементы волоконно-оптических линий связи. Источники излучения. Приемники излучения. Оптическое волокно. Волоконно-оптический кабель. История волоконной связи. Первые системы и их характеристики (многомодовые, одномодовые, подводные). Ограничения

при увеличении пропускной способности (потери и дисперсия, нелинейные эффекты). Потери. Необходимость усилителей. Оптоэлектронные усилители. EDFA и их преимущества в связи. Напоминание об их параметрах (мощность насыщения, коэффициент усиления и шум-фактор). Протяженная ВОЛС с периодическим усилением. OSNR. Длина безрегенерационного участка, зависимость от скорости. Ограничение по дисперсии. Управление дисперсией.

Раздел 13. Увеличение пропускной способности волоконно-оптических линий связи (2 часа)

Пропускающая способность. Временное и спектральное уплотнение. Солитонные линии связи. БЕР. Глаз-диаграмма. Прямая коррекция ошибок. Спектральное мультиплексирование и плотное мультиплексирование. Компоненты мультиплексирования. Форматы данных. Понятие спектральной эффективности.

Раздел 14. Заключение (2 часа)

Прогноз развития волоконной оптики. Новое в оптической связи. Перспективные направления физики и техники волоконных лазеров и сенсоров. Новые применения волоконных лазеров и сенсоров (биомедицина и т.д.). Основные направления исследований и проекты по волоконной оптике в СО РАН.

Самостоятельная работа студентов (36 часов)

Перечень занятий на СРС	Объем, час
Подготовка к практическим занятиям	9
Подготовка к контрольным работам	9
Подготовка к экзамену	18

5. Перечень учебной литературы.

1. Бейли, Дэвид. Волоконная оптика: теория и практика: [пер. с англ.] / Дэвид Бейли, Эдвин Райт. Москва : Кудиц-Пресс, 2008, 320 с. : ил. ; 21 см.(Сетевые технологии) ISBN 978-5-91136-048-1. (1 экз.)
2. Агравал, Говинд П. Применение нелинейной волоконной оптики: учебное пособие: [для студентов вузов, обучающихся по техническим направлениям подготовки] / Говинд Агравал ; [пер. В.И. Кузина] ; под ред. д.ф.-м.н. И.Ю. Денисюка. Санкт-Петербург [и др.] : Лань, 2011, 591 с. : ил. ; 24 см(Учебники для вузов, Специальная литература) ISBN 978-5-8114-0999-0 (2 экз.)

6. Перечень учебно-методических материалов по самостоятельной работе обучающихся.

1. Othonos, K. Kalli, Fiber Bragg Gratings: Fundamentals and Applications in Telecommunications and Sensing, Artech House Publishers, 1999
2. Шен И.Р. Принципы нелинейной оптики. М; Наука, 1989.
3. Г. Агравал, Нелинейная волоконная оптика, Москва, Мир, 1996.
4. Е. М. Дианов, Волоконные лазеры, УФН, т.174, №10, стр.1139-1142, 2004.
5. Ю. Н. Кульчин, Распределенные волоконно-оптические измерительные системы, Москва, Наука, 2001.
6. М. Адамс, Введение в теорию оптических волноводов (Москва:Мир, 1984).
7. А. М. Желтиков, Оптика микроструктурированных волокон, Москва, Наука, 2004.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины.

Для освоения дисциплины используются следующие ресурсы:

- электронная информационно-образовательная среда НГУ (ЭИОС);
- образовательные интернет-порталы;
- информационно-телекоммуникационная сеть Интернет.

7.1 Современные профессиональные базы данных

1. <http://www.iucr.org/iucr-top/>
2. *National Institute of Standard and Technology*. NIST, <https://www-s.nist.gov>.

7.2. Информационные справочные системы

Энциклопедия фотоники: <https://www.rp-photonics.com/encyclopedia.html>

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.

Для обеспечения реализации дисциплины используется стандартный комплект программного обеспечения (ПО), включающий регулярно обновляемое лицензионное ПО Windows и MS Office.

Использование специализированного программного обеспечения для изучения дисциплины не требуется.

9. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.

Для реализации дисциплины «Волоконная оптика 2» используются специальные помещения:

1. Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа, практических занятий, курсового проектирования (выполнения курсовых работ), групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля, итоговой и итоговой аттестации.

2. Помещения для самостоятельной работы обучающихся.

Учебные аудитории укомплектованы специализированной мебелью и техническими средствами обучения, служащими для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду НГУ.

Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по дисциплине для обучающихся из числа лиц с ограниченными возможностями здоровья осуществляется согласно «Порядку организации и осуществления образовательной деятельности по образовательным программам для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья в Новосибирском государственном университете».

10. Оценочные средства для проведения текущего контроля и итоговой аттестации по дисциплине.

10.1 Порядок проведения текущего контроля и итоговой аттестации по дисциплине

Текущий контроль

Текущий контроль осуществляется в ходе семестра путем проведения коротких самостоятельных работ в начале каждого занятия с решением типовых задач, разобранных на предыдущем занятии. Студентам необходимо успешно выполнить две контрольные работы.

Промежуточная аттестация

Освоение компетенций оценивается согласно шкале оценки уровня сформированности компетенции. Положительная оценка по дисциплине выставляется в том случае, если заявленная компетенция ПК-1 сформирована не ниже порогового уровня в части, относящейся к формированию способности использовать специализированные знания.

Окончательная оценка работы студента в течение семестра происходит на экзамене. Экзамен проводится в конце семестра в экзаменационную сессию по билетам в устной форме. Вопросы билета подбираются таким образом, чтобы проверить уровень сформированности компетенции ПК-1.

Вывод об уровне сформированности компетенций принимается преподавателем. Каждый вопрос билета оценивается от 0 до 5 баллов. Положительная оценка ставится, когда все компетенции освоены не ниже порогового уровня. Оценки «отлично», «хорошо», «удовлетворительно» означают успешное прохождение итоговой аттестации.

Соответствие индикаторов и результатов освоения дисциплины

Таблица 10.1

Индикатор	Результат обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК 1.1 Применяет специализированные знания в области физики при решении конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Знать теоретические основы волоконной оптики, технику волоконно-оптического эксперимента и основы базовых технологий, основные физические процессы, связанные с распространением света в волоконных световодах, как линейные, так и нелинейные.	Проведение самостоятельных работ в начале каждой лекции, решение контрольных работ, экзамен.
ПК 1.2 Выбирает наиболее эффективные методы решения конкретных задач в области научных исследований в соответствии с профилем подготовки в зависимости от специфики объекта исследования.	Уметь объяснить принципы работы основных волоконно-оптических устройств и волоконно-оптических систем, в т.ч. систем связи и сенсорных систем на основе точечных (ВБР) и распределенных волоконных датчиков. Владеть выводом и решением нелинейного уравнения Шредингера, понятием солитона, описанием нелинейных эффектов при распространении коротких импульсов света в волоконных световодах и при преобразовании света (ВКР, ВРМБ).	Проведение самостоятельных работ в начале каждой лекции, решение контрольных работ, экзамен.

10.2 Описание критериев и шкал оценивания индикаторов достижения результатов обучения по дисциплине «Волоконная оптика 2».

Таблица 10.2

Критерии оценивания результатов обучения	Шкала оценивания
--	------------------

Экзамен: – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий, – наличие исчерпывающих ответов на дополнительные вопросы. При изложении ответа на вопрос(ы) преподавателя обучающийся мог допустить непринципиальные неточности.	Отлично
Экзамен: – самостоятельность, осмысленность, структурированность, логичность и аргументированность изложения материала, – точность и корректность применения терминов и понятий при наличии незначительных ошибок, – наличие полных ответов на дополнительные вопросы с возможным присутствием ошибок.	Хорошо
Экзамен: – самостоятельность и осмысленность в изложении материала, наличие ошибок в логике и аргументации, а также затруднений при формулировке собственных суждений, – корректность применения терминов и понятий, с множественными ошибками, – наличие неполных и/или содержащих существенные ошибки ответов на дополнительные вопросы.	Удовлетворительно
Экзамен: – отсутствие осмысленности, структурированности, логичности и аргументированности в изложении материала, – грубые ошибки в применении терминов и понятий, – отсутствие ответов на дополнительные вопросы.	Неудовлетворительно

10.3 Типовые контрольные задания и материалы, необходимые для оценки результатов обучения

Примеры задач для самостоятельного решения

1. Оценить минимальную длительность импульса при синхронизации мод волоконного иттербиевого лазера с диапазоном усиления 1000-1100 нм (выше уровня потерь).
2. Найти длину волны и порог генерации ВКР-лазера на основе световода SMF-28 длиной 1 км с накачкой иттербиевым волоконным лазером (1060 нм) с кольцевым резонатором на основе ответвителя 70:30.

Контрольная работа № 1

1. Оценить максимальную энергию импульса при синхронизации мод волоконного иттербиевого лазера с центральной длиной волны 1030 нм и средней мощностью 100 мВт.
2. Сравнить нелинейную и дисперсионные длины при распространении импульса гауссовой формы длительностью 100 пс пиковой мощностью 0,1 Вт с центральной длиной волны 1550 нм в световоде SMF-28.
3. Сравнить нелинейную и дисперсионные длины при распространении импульса гауссовой формы длительностью 10 пс пиковой мощностью 1 Вт с центральной длиной волны 1550 нм в световоде SMF-28.
4. Оценить длительность солитона пиковой мощностью 1 Вт с центральной длиной волны 1550 нм в световоде с коэффициентом дисперсии $-10 \text{ пс}^2/\text{км}$.
5. Оценить характерную длину одномодового световода, на которой эффект нелинейного вращения поляризации импульса пиковой мощностью 1 кВт с центральной длиной волны 1050 нм сравним по величине со случайным двулучепреломлением (10^{-8}).

Контрольная работа № 2

3. Найти порог ВРМБ для излучения иттербиевого волоконного лазера (1,06 мкм) с шириной спектра 10 ГГц в световода SMF-28 длиной 1 км.
4. Оценить период динамической решётки и величину сдвига частоты в процессе ВРМБ и для излучения эрбиевого волоконного лазером (1,55 мкм), если известна скорость звука в среде (10^5 см/с).
5. Оценить длину безрегенерационного участка волоконной линии связи для мощности передатчика 1 мВт, квантового предела приемника 10 нВт в зависимости от скорости передачи (1, 10, 100 Гб/с).
6. Для линии связи в волокне с потерями $\alpha = 0,2 \text{ дБ/км}$ протяженностью 1000 км число промежуточных усилителей составляет $N_0=10$. Определить число таких же усилителей N , которые обеспечили бы прежнее значение OSNR для линии 2000 км.
7. Оценить пространственное и температурное разрешение распределённого датчика температуры на основе комбинационного рассеяния импульсов мощностью 1 Вт и длительностью 10 нс на 1,55 мкм в зависимости от длины волокна SMF-28 (0,1, 1 и 10 км).

Вопросы на экзамен

Тема 1. Волоконно-оптические датчики на основе ВБР

1. Точечные датчики температуры и деформаций на основе ВБР.
2. Спектральное и временное мультиплексирование ВБР
3. Применения ВБР-датчиков.

Тема 2. Распределенные волоконно-оптические датчики

1. Волоконные распределённые датчики на основе рефлектометрии КР.

2. Волоконные распределённые датчики на основе рефлектометрии ВРМБ.
3. Фазочувствительный рефлектометр на основе рэлеевского рассеяния.
4. Применения распределённых волоконно-оптических датчиков.

Тема 3,4. Дисперсия волокон. Теория линейных эффектов в оптоволокне

1. Материальная дисперсия, уравнение Зелмейера.
2. Нормальная и аномальная дисперсии
3. Линейное уравнение Шредингера.

Тема 5,6. Теория нелинейных эффектов в оптоволокне

1. Нелинейное уравнение Шредингера (НУШ)
2. Распространение импульсов, описываемое НУШ.
3. Фазовая само- и кросс-модуляция.
4. Солитоны. Модуляционная неустойчивость.
5. Поляризационные эффекты при распространении импульсов. Нелинейная эволюция поляризации (NPE).
6. Синхронизация мод волоконных лазеров: NPE, SESAM.
7. Режимы генерации и параметры фемтосекундных лазеров.

Тема 7. Вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ).

1. Стоксов сдвиг ВРМБ. Линия усиления. Порог ВРМБ.
2. Волоконный ВРМБ-лазер.
3. Аналитическая модель ВРМБ. Решения: мощность прошедшей и отраженной волн.

Тема 8. Вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР).

1. Описание процесса. Стоксов сдвиг и линия усиления. Порог ВКР.
2. Волоконный ВКР-лазер. Устройство. Принцип работы. Выходные параметры.
3. Каскадный ВКР-лазер. Аналитическая модель. Истощение накачки и последовательное насыщение мощности стоксовых волн.
4. Моды ВКР-лазера. Формирование спектра генерации.
5. Длинный волоконный ВКР-лазер. Предел длины резонатора. Рэлеевская обратная связь.

Тема 9. Удвоение частоты волоконных лазеров

1. I и II тип синхронизма в кристаллах. Периодически ориентированные кристаллы.
2. Особенности удвоения частоты волоконных лазеров. Однопроходная схема. Внутррезонаторное удвоение.
3. Удвоение большого количества мод со случайной фазой.
4. Генерация второй гармоники в волокне.

Тема 10, 11. Основные типы усилителей и их характеристики. Волоконные усилители

1. Основные типы усилителей.
2. Эрбиевые волокна для C и L-диапазонов: спектральные характеристики усиления и поглощения, различие параметров. Мощность накачки, длина, коэффициент усиления и рабочие длины волн.
3. Отношение сигнал/шум (SNR). Усиленное спонтанное излучение (ASE). Шумовой коэффициент (NF). Минимальное увеличение шума.
4. Распределённый ВКР-усилитель.

Тема 12, 13. Основы волоконно-оптической связи. Увеличение пропускной способности волоконно-оптических линий связи.

1. Основные элементы волоконно-оптических линий связи.
2. Ограничения при увеличении пропускной способности (потери и дисперсия, нелинейные эффекты). Протяженная ВОЛС с периодическим усилением. OSNR. Длина безрегенерационного участка, зависимость от скорости. Ограничение по дисперсии. Управление дисперсией.
3. БЕР. Глаз-диаграмма. Прямая коррекция ошибок. Форматы данных. Понятие спектральной эффективности.
4. Пропускная способность. Временное и спектральное уплотнение. Солитонные линии.

Пример экзаменационного билета

1. Теория: Каскадный ВКР-лазер. Аналитическая модель. Истощение накачки и последовательное насыщение мощности стоксовых волн.
2. Задача: Оценить минимальную длительность импульса при синхронизации мод волоконного эрбиевого лазера с диапазоном усиления 1530-1570 нм выше порога.

Оценочные материалы по итоговой аттестации, предназначенные для проверки соответствия уровня подготовки по дисциплине требованиям СУОС, хранятся на кафедре-разработчике РПД в печатном и электронном виде.