

ГОУ «ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Т.Г. ШЕВЧЕНКО»

Физико-технический институт

Физико-математический факультет

Кафедра фундаментальной физики, электроники и систем связи

ПОДГОТОВКА ОБУЧАЮЩИХСЯ К ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЭКЗАМЕНУ

*по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные
технологии и системы связи,*

*профиль подготовки «Оптические системы
и сети связи»*

Методические рекомендации

Тирасполь
*Издательство
Приднестровского
Университета*
2025

УДК 621.391.6 (072.8)

ББК 3886р30

П44

Составители:

О.Ф. Васильева, к.ф.-м. н., доцент

О.В. Коровай, к.ф.-м. н., доцент

Рецензенты:

И.Г. Стамов, д.ф.-м.н., профессор кафедры Фундаментальной физики, электроники и СС

А.П. Круковский, заместитель начальника Управления, начальник отдела государственного регулирования разрешительной деятельности Управления государственной политики в сфере связи

П44 **Подготовка обучающихся к государственному экзамену по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль подготовки «Оптические системы и сети связи»:** методические рекомендации [Электронный ресурс] / ГОУ “Приднестр. гос. ун-т им. Т.Г. Шевченко”, ФТИ, Физ.-мат. фак.; составители: О.Ф. Васильева, О.В. Коровай. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2025. – 38 с.

Минимальные системные требования: CPU (Intel/AMD) 1,5 ГГц/ ОЗУ 2 Гб/HDD 450 Мб/1024*768/Windows 7 и старше/Internet Explorer 11/Adobe Acrobat Reader 6 и старше.

Методические рекомендации содержат основные требования и примерные вопросы к государственному экзамену по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. Предназначено для студентов физико-математического факультета направления подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»

УДК 621.391.6 (072.8)

ББК 3886р30

Рекомендовано Научно-методическим советом ПГУ им. Т.Г. Шевченко

© Васильева О.Ф., Коровай О.В., составление, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ	4
2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ.	5
3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЭКЗАМЕНУ	5
4. СОДЕРЖАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА.	6
5. ПОДГОТОВКА К СДАЧЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА	28
6. СДАЧА И ОЦЕНИВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА	31
7. ПОРЯДОК ПОДАЧИ АПЕЛЛЯЦИИ	33
8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА	35

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ О ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИТОГОВОЙ АТТЕСТАЦИИ

Методические рекомендации по подготовке и проведению государственного экзамена составлены в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль подготовки «Оптические системы и сети связи».

Государственная итоговая аттестация (ГИА) выпускников направления подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль подготовки «Оптические системы и сети связи» включает защиту выпускной квалификационной работы и сдачу комплексного государственного экзамена.

Государственный экзамен по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль подготовки «Оптические системы и сети связи» носит междисциплинарный практико-ориентированный характер и содержит ключевые, практически значимые вопросы и задачи по дисциплинам базовой части учебного плана. Подготовка и сдача государственного экзамена обучающимися является первым этапом государственной итоговой аттестации.

Целью ГИА является выявление соответствия между реальным уровнем подготовки выпускника и требованиям **ФГОС ВО** к профессиональной подготовленности обучающегося по программе бакалавриата по направлению 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль подготовки «Оптические системы и сети связи» к осуществлению будущей профессиональной деятельности.

Задачи государственной итоговой аттестации состоят в оценке готовности обучающихся к профессиональной деятельности, в том числе:

- проверка уровня подготовки выпускника к профессиональной инженерной деятельности;
- оценка теоретических знаний, практических навыков и умений выпускника в области связи, информационно и коммуникационных технологий;
- оценка аналитических и исследовательских способностей выпускника.

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Государственная итоговая аттестация является составной образовательной программы по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи. Государственная итоговая аттестация проводится на 4 курсе, очной формы обучения (семестр 8), после завершения обучающимся теоретического курса обучения и прохождения всех видов практик.

Содержание государственной итоговой аттестации логически и содержательно-методически тесно взаимосвязано с теоретическим и практическим курсом обучения, представленным дисциплинами учебного плана. Государственная итоговая аттестация в соответствии с ФГОС ВО направлена на формирование универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций, соотношенных с компетентностной моделью выпускника по данной ОПОП ВО.

3. ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЭКЗАМЕНУ

Государственный экзамен проводится с целью проверки уровня и качества общепрофессиональной подготовки студентов и должен, наряду с требованиями к содержанию отдельных дисциплин, учитывать также общие требования к выпускнику, предусмотренные ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи.

Государственный экзамен носит комплексный характер и позволяет выявить и оценить фундаментальные теоретические знания и практические умения выпускника в области инфокоммуникаций, владение терминологией по направлению, знания актуальных технологий передачи информации, оборудования и устройств, используемых в области телекоммуникаций. Государственный экзамен ориентирован на выявление у выпускника целостной системы базовых знаний, умений и навыков, образующих основу для последующего профессионального самоопределения и повышения его квалификации.

Выпускник успешно освоивший ОПОП ВО по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи на государственном экзамене должен продемонстрировать перед госу-

дарственной экзаменационной комиссией теоретический уровень подготовки для решения профессиональных задач, готовность к основным видам профессиональной деятельности.

Государственный экзамен проводится по нескольким базовым дисциплинам образовательной программы, результаты освоения которых имеют определяющее значение для профессиональной деятельности выпускника:

- метрология в оптических телекоммуникационных системах,
- оптические направляющие среды,
- основы построения телекоммуникационных систем и сетей,
- сетевые технологии и сети следующего поколения.

Вопросы, включенные в программу государственного экзамена, сформулированы таким образом, что ответы на них обеспечивают возможность объективной оценки знаний и профессиональной подготовки будущих бакалавров.

Государственный экзамен проводится в устной форме. К сдаче государственного экзамена по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль подготовки «Оптические системы и сети связи» допускаются обучающиеся, завершившие полный курс обучения и успешно прошедшие все предшествующие аттестационные испытания, предусмотренные учебным планом и не имеющие задолженностей.

4. СОДЕРЖАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

Содержание государственного экзамена по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль подготовки «Оптические системы и сети связи» составлено на основе разделов рабочих программ базовых дисциплин, включенных в экзаменационные материалы.

Раздел I. Метрология в оптических телекоммуникационных системах.

Особенности метрологии в оптических телекоммуникационных системах, измерительные задачи, особенности ввода измерительной информации в оптические волокна; измеряемые параметры; средства измерений, обработка и представление результатов; стандартизированные методики измерений; вопросы метрологического обеспечения средств измерений оптического диапазона; вопросы комплекс-

ной автоматизации с применением информационно-измерительных систем.

Раздел II. Оптические направляющие среды.

Современная оптическая связь, принципы построения волоконно-оптических сетей; оптические направляющие среды передачи (ОНСП), основы теории ОНСП; оптическое волокно (ОВ), типы ОВ и его основные характеристики, распространение сигнала по ОВ; оптические кабели, их конструкции и характеристики; структурированные кабельные сети; пассивные компоненты ВОЛС, разъемные и неразъемные соединители, оптические разветвители, оптические изоляторы; электромагнитные влияния на ВОЛС и меры защиты; проектирование магистральных, внутризоновых и местных ВОЛС; специализированные ВОЛС на локальных и корпоративных: сетях; современные методы строительства ВОЛС; надежность ВОЛС; основы технической эксплуатации ВОЛС.

Раздел III. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей, сетевые технологии и сети следующего поколения.

Архитектура взаимоувязанной сети связи, первичные электрические сигналы и их характеристики; коммутация каналов, сообщений и пакетов; принципы построения систем коммутации; элементы теории телетрафика; типовые каналы передачи, организация двусторонних каналов, особенности передачи информации по двусторонним каналам, развязывающие устройства, основные характеристики каналов; принципы построения систем передачи (СП) с частотным разделением каналов (ЧРК), методы формирования и передачи канальных сигналов в СП с ЧРК, иерархическое построение МСП с ЧРК; принципы построения СП с временным разделением каналов и импульсно-кодовой модуляцией (ИКМ), иерархическое построение СП с ИКМ; параметры цифровых сигналов в системах плезихронной и синхронной иерархии, транспортная модель сети, понятие о протоколах обмена; особенности построения волоконно-оптических цифровых систем передачи; принципы построения систем радиосвязи: радиорелейных, спутниковых, подвижных систем электросвязи; сигналы и типовые каналы в системах радиосвязи, передача аналоговых и цифровых сигналов, параметры аналоговых частотно-модулированных сигналов; принципы построения наземных и спутниковых систем телевизионного и звукового вещания; современное состояние и перспективы развития систем и технологий связи.

**Контрольные вопросы
для государственного экзамена
(теоретическая часть)**

1. Методы измерения числовых апертур оптических волокон (ОВ).
2. Методы измерения длины волны отсечки ОВ и ОК.
3. Методы измерения межмодовой дисперсии во временной и частотной областях.
4. Методы измерения хроматической дисперсии.
5. Измерение поляризационной модовой дисперсии методом сканирования длины волны.
6. Анализаторы спектра на основе дифракционных решеток и интерферометра Фабри-Перо. Автокорреляционные анализаторы оптического спектра.
7. Измерение основных параметров каналов систем WDM с помощью OSA.
8. Методика измерения глаз-диаграмм.
9. Методики определения Q – фактора и коэффициента ошибок.
10. Дрейф и дрожание фазы. Измерение фазового дрожания фазовым детектором и осциллографом. Способы уменьшения джиттера.
11. Измерение параметров и характеристик источников излучения.
12. Измерение электрических параметров приемников оптического излучения.
13. Измерение спектральной, интегральной и пороговой чувствительности фотоприемников (ФП).
14. Измерение частотных и временных характеристик ФП.
15. Принципы работы и устройство оптических рефлектометров (OTDR). Назначение и основные типы OTDR.
16. Характеристики OTDR (динамический диапазон, отношение сигнал шум, пространственное разрешение).
17. Измерение длины с помощью OTDR.
18. Измерение полных и погонных потерь с помощью OTDR.
19. Измерение потерь в сростках волокон.
20. Определение коэффициентов отражения в волоконных линиях передачи по рефлектограмме.
21. Волоконно-оптическая связь.
22. Волоконные лазеры. Волоконные датчики.
23. Источники оптического излучения
24. Перспектива развития волоконной оптики.
25. Основные сведения о ВОЛС.

26. Преимущества ВОЛС и недостатки.
27. Основные понятия, связанные с оптическим волокном.
28. Геометрические параметры волокна.
29. Свойства волокна, основанные на законах геометрической оптики.
30. Оптическое волокно. Типы оптического волокна.
31. Многомодовые оптические волокна.
32. Диапазон длин волн, используемый для передачи по волокну.
33. Свойства волокна, основанные на законах электромагнитного поля. Моды колебаний.
34. Длины волн отсечки. Частота отсечки и нормированная частота моды.
35. Номенклатура мод низких порядков.
36. Диаметр модового поля
37. Число мод многомодового волокна.
38. Профиль изменения показателя преломления.
39. Основные характеристики оптических потерь волокна.
40. Основные характеристики искажений оптического сигнала.
41. Дисперсия.
42. Хроматическая дисперсия. Материальная дисперсия.
43. Волноводная дисперсия.
44. Поляризационная дисперсия.
45. Методы компенсации дисперсии.
46. Нелинейные эффекты в оптическом волокне.
47. Нелинейное преломление, ФСМ, ФКМ.
48. Вынужденное неупругое рассеяние.
49. Модуляционная неустойчивость.
50. Четырехволновое смешение.
51. Разъемные соединители и их стандарты.
52. Сварное соединение волокон.
53. Оптические разветвители типы и характеристики.
54. Устройства волнового уплотнения. Оптические изоляторы.
55. Атенуаторы, оптические переключатели, кроссовые устройства.
56. Структурные элементы кабеля. Конструктивные элементы волоконно-оптического кабеля.
57. Главные цели конструкции кабеля Конструкция свободной трубки
Конструкция желобчатого сердечника Волокна с плотным буфером
Конструкция со свободным буфером.
58. Воздушный кабель. Короткопролетный диэлектрик. Длиннопролетный диэлектрик.

59. Подземный кабель. Подводный кабель. Кабели для помещений. Распределительные кабели. Наполненные кабели.
60. Загущение сигналов в сетях электросвязи. Диаграмма уровней и единицы измерений.
61. Общие принципы построения сетей электросвязи. Назначение и состав сетей.
62. Методы коммутации в сетях электросвязи. Фазы коммутации.
63. Структура сетей электросвязи. Граф и топологии сетей.
64. Каналы связи и их характеристики.
65. Общие принципы построения многоканальных систем передачи.
66. Особенности передачи цифровых сигналов. Теоремы Шеннона-Хартли, Котельникова – Найквиста.
67. Методы мультиплексирования. Временное мультиплексирование/уплотнение.
68. Волновое мультиплексирование/уплотнение. Технологии WDM и FDM
69. Практический метод формирования цифровой последовательности
70. Объединение цифровых потоков в PDH. Потоки E1, E2, E3 и E4. Недостатки PDH.
71. Синхронная цифровая иерархия SDH. Структура кадра STM-1. Виртуальные контейнеры.
72. Системы синхронизации в PDH и SDH.
73. Методы доступа в системах сотовой связи.
74. Функциональная схема и основные элементы цифровой системы связи.
75. Математические модели каналов связи.
76. Коммутационные приборы и элементы. Основные понятия и определения.
77. Технология оптической транспортной сети OTN – ОTH.
78. Архитектура платформы транспортных оптических сетей GMPLS.
79. Основные понятия информационной безопасности. Угроза, атака, риск.
80. Модуляция и кодирование сигналов. Скорость передачи и физическая среда.
81. Методы множественного доступа к среде. Эталонная модель взаимодействия открытых систем (ЭМВОС).
82. Качество обслуживания (QoS). Модели резервирования. Маршрутизация и качество обслуживания (QoS).
83. Технические средства высокоскоростных сетей. Протоколы локальных сетей.

84. Технология MPLS. VPN и технология GMPLS. Структуры меток. Маршрутизаторы MPLS.
85. Формирование блоков ОН на ASIC, FPGA, CPLD. Технологии Wi-Fi, WiMAX и LTE.
86. Сети связи следующего поколения (ССП) или NGN – Next Generation Network.
87. Архитектура ССП. Управление услугами. Технологии IP/MPLS.
88. Softswitch и основные протоколы, используемые в сетях следующего поколения.
89. Программный коммутатор Softswitch. Архитектура Softswitch.
90. Технология MPLS. Главные особенности MPLS.
91. Концепция IP Multimedia Subsystem (IMS).
92. Архитектура IMS.
93. Сравнение платформ Softswitch и IMS.

Образец подготовки ответа на 23 вопрос

Оптические передатчики (ОП), применяемые в ВОСП, предназначены для преобразования электрических сигналов в оптические. С этой целью выходное излучение оптического источника модулируется в соответствии с входными электрическими сигналами, поступающими от передающего источника сообщений.

По характеру модуляции оптические передатчики делятся на передатчики с прямой (внутренней) и внешней модуляцией (рисунок 1).

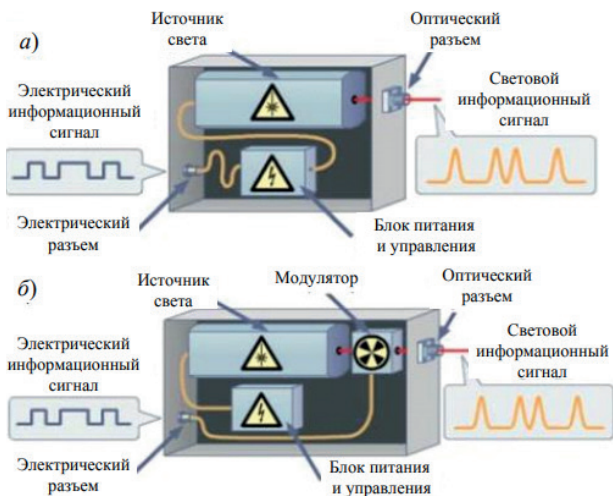


Рисунок 1 – Схемы оптических передатчиков с прямой (а) и внешней (б) модуляцией

В оптических передатчиках с прямой модуляцией мощность излучения источника света модулируется внешним электрическим током питания. В цифровых системах связи на основе передатчиков с прямой модуляцией используется простейший оптический формат передачи данных, при котором логическому нулю соответствует выключенное состояние источника излучения, а логической единице – включенное.

При скоростях передачи 10 Гбит/с и выше используются передатчики с внешней модуляцией. Источниками излучения в таких передатчиках, как правило, являются узкополосные одномодовые непрерывные полупроводниковые лазеры. Непрерывное оптическое излучение модулируется внешним модулятором, что обеспечивает формирование оптического сигнала с минимальной спектральной шириной. Кроме того, применение внешней модуляции позволяет использовать более сложные форматы модуляции и применять поляризационное разделение сигналов. Передатчики с внешней модуляцией используются в системах дальней связи, в которых требования к качеству оптического сигнала особенно высоки. Максимальная скорость передачи информации, ограниченная быстродействием модулятора, составляет 40 Гбит/с. Для увеличения скорости передачи по одному каналу свыше 40 Гбит/с была предложена техника оптического временного уплотнения (OTDM). Такие системы работают со специальными источниками излучения – лазерами с синхронизацией мод, которые генерируют непрерывную последовательность ультракоротких импульсов (УКИ) света.

Источниками излучения в оптических передатчиках с прямой модуляцией являются полупроводниковые светоизлучающие диоды (светодиоды) или лазеры. Передатчики на основе светодиодов используются совместно с многомодовым волокном в низкоскоростных системах передачи информации на короткие расстояния, но постепенно вытесняются лазерными передатчиками. Основными недостатками светодиодов являются малая скорость передачи информации, малая выходная мощность, широкая полоса спектра и большая расходимость излучения. С другой стороны, светодиоды – более дешевые и неприхотливые приборы, которые вполне подходят для ряда систем небольшой протяженности или средней протяженности, но с малой скоростью передачи информации (менее 1 Гбит/с). Поэтому они широко используются в замкнутых системах видеонаблюдения, в локальных вычислительных сетях (ЛВС), в измерительных и других сетях, построенных на основе многомодового оптического волокна. Применение светодиодов в аппаратуре связи позволяет существенно удешевить приемопередающее оборудование, что и является причиной использования кабелей

с многомодовым волокном при строительстве ЛВС. В настоящее время с учетом снижения стоимости лазеров целесообразно применять вместо многомодового оптического волокна со светодиодами одномодовое оптическое волокно с лазерами в качестве оптических передатчиков. В городских сетях связи и системах дальней связи в качестве источников излучения используются полупроводниковые лазеры, обеспечивающие существенно большую вводимую в одномодовое волокно мощность, максимальную скорость передачи информации, обладающие существенно более узким спектром излучения по сравнению со светодиодами.

В системах передачи при скоростях до 2,5 Гбит/с применяются многомодовые лазеры с резонатором Фабри – Перо (рисунок 2). Роль зеркалотражателей выполняют торцы полупроводникового кристалла.

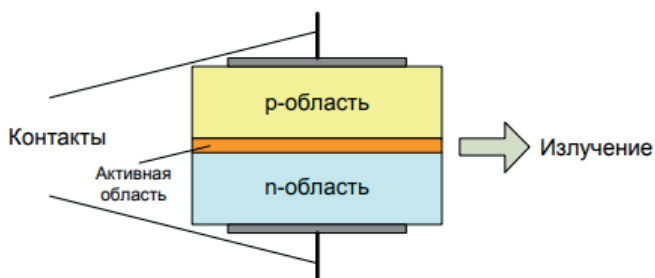


Рисунок 2 – Структура лазеров с резонатором Фабри – Перо

Данный тип лазеров позволяет получить излучение на желаемой длине волны, а также боковые моды меньшей амплитуды, отделенные промежутками порядка 1 нм. Полная выходная мощность стабильна, однако имеет место изменение мощности отдельных мод, что, в свою очередь, приводит к возрастанию хроматической дисперсии, и, как следствие, к возрастанию уровня шумов в выходном сигнале. Следует отметить чувствительность данного типа лазеров к отражениям от внешних поверхностей оптических разъемов. Это свойство также влияет на распределение мощности сигнала по отдельным модам.

При скоростях передачи 2,5 Гбит/с и выше применяются лазеры с распределенной обратной связью (Distributed Feed Back – DFB). В их структуре используется брэгговская дифракционная решетка для дополнительного уменьшения ширины линии генерации, которая служит механизмом обратной связи. Формируется она в активной зоне между двумя слоями лазерной структуры (рисунок 3).

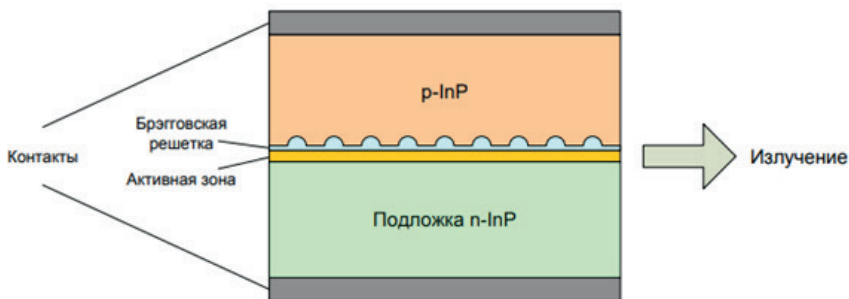


Рисунок 3 – Структура DFB-лазеров

Таким образом, DFB-лазер имеет встроенные возможности выбора длины волны благодаря механизму обратной связи. Обратная связь не локализована в одном месте, а распределена по длине резонаторной полости.

Лазеры с распределенной обратной связью позволяют ослабить влияние хроматической дисперсии, т. к. они работают в одномодовом одночастотном режиме, а в этом случае достигается минимальная ширина спектра излучения.

Достигается данный эффект размещением зеркал на концах усиливающей области. В ней самой создается периодическая решетка показателя преломления. Период решетки d подобран так, чтобы условие Брэгга выполнялось для отражения в обратном направлении. С учетом показателя преломления n условие Брэгга имеет вид:

$$2nd = \lambda \quad (1)$$

Условие отражения от периодической структуры выполняется для лучей обоих направлений. Таким образом, периодическая решетка создает обратную связь в обоих направлениях, распределенную по всей длине лазера. Поскольку обратная связь, создаваемая периодической решеткой, является селективной, то в DFB-лазерах обеспечивается режим одномодовой генерации. Еще одно преимущество DFB-лазеров – возможность размещать их непосредственно на поверхности полупроводниковой подложки и подключать к ОВ на поверхности этой подложки, создавая интегральные оптические устройства.

В процессе работы параметры брэгговской решетки могут изменяться (нагрев, изменение тока накачки, влияние отражений от оптических разъемов и т. д.), что приводит к существенному изменению длины волны излучения лазера. Данные проблемы решаются путем до-

бавления некоторых компонентов в структуру лазера: фото диода для мониторинга выхода, термоэлектрического охладителя, схемы обратной связи для управления выходом и поддержания желаемой частоты.

Лазер с распределенными брэгговскими отражателями (Distributed Brag Reflector – DBR) содержит селективный элемент – брэгговскую решетку, расположенную в неактивной зоне (рисунок 4).

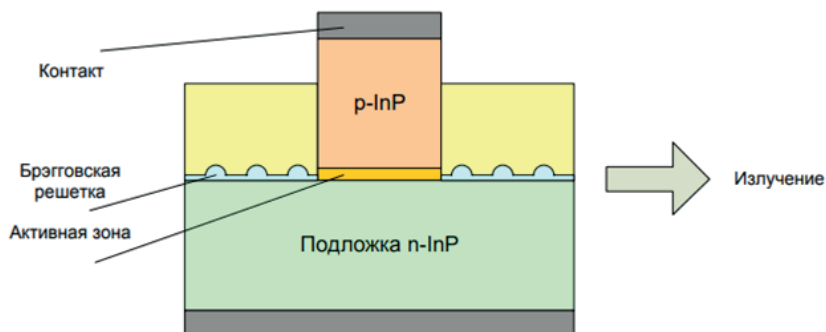


Рисунок 4 – Структура DBR-лазеров

Таким лазером обеспечивается более узкая, по сравнению с предыдущими типами, ширина спектра. Спектр отражения брэгговского отражателя определяется числом интерферирующих отраженных пучков, которое равно числу штрихов решетки. С увеличением числа интерферирующих пучков ширина спектра отражения уменьшается. Поэтому увеличением числа штрихов можно добиться того, что условия генерации будут выполняться только для одной моды. Это обеспечивает поддержание режима одночастотной одномодовой генерации.

В лазерах с вертикальным резонатором и поверхностным излучением (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser – VCSEL) излучение направлено перпендикулярно p-n-слою (рисунок 5). Вертикальная структура состоит из ряда слоев p-типа, активной области и ряда слоев n-типа. Сверху и снизу от активной среды расположены слои полупроводников с периодически изменяющейся величиной показателя преломления, которые изготавливаются из комбинации In + Ga + As + (Al или P). Слои выполняют функции лазерных зеркал, и излучение лазера направлено вертикально вверх, то есть перпендикулярно плоскости слоев. Число слоев зависит от желаемой длины волны излучения. Например, комбинация In + Ga + As + P используется для лазеров с оптическим излучением в окне длин волн 1310–1550 нм.

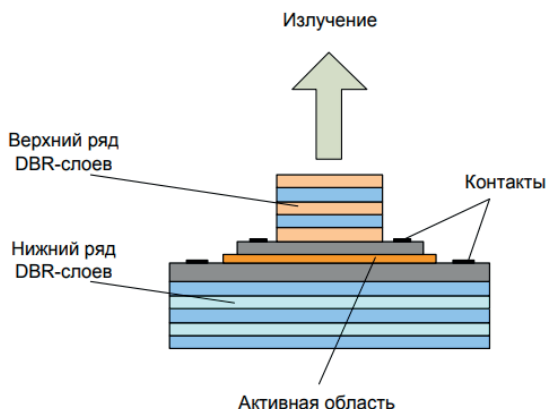


Рисунок 5 – Структура VCSEL-лазеров

Лазеры работают в одномодовом (продольная мода) режиме, используя резонатор исключительно малой длины (порядка 1 мкм), для которого разнесение мод превышает полосу частот усиления. Они излучают свет в направлении, перпендикулярном плоскости активного слоя, аналогично тому, как это делается в СИД с излучающей поверхностью. Работа такого лазера в одномодовом (поперечная мода) режиме может быть реализована путем уменьшения диаметра VCSEL до 2–3 мкм. Выходная мощность и ширина полосы лазеров типа VCSEL, как правило, ниже, чем аналогичные показатели DFB-лазеров.

Важнейшее преимущество VCSEL-лазеров состоит в их технологичности, так как на одном чипе можно разместить матрицу лазеров, каждый из которых может излучать заданную длину волны согласно сетке частот. Еще одним достоинством подобных систем является более простая технология стабилизации параметров, осуществляемая для всех лазеров массива одновременно. Принципы работы перестраиваемых лазеров такие же, как и у лазеров с фиксированной длиной волны генерации. Основными элементами любого лазера являются усилитель и резонатор. В перестраиваемых лазерах применяются те же активные элементы, что и в обычных, поэтому свойства таких лазеров определяются конструкциями используемых перестраиваемых селективных резонаторов.

Перестраиваемые лазеры характеризуются двумя особенностями. Во-первых, спектр усиления их активного вещества должен быть достаточно широким для того, чтобы обеспечить генерацию во всем требуемом диапазоне перестройки. Во-вторых, резонатор лазера должен обладать высокой селективностью для выделения одной длины волны и

его конструкция должна обеспечивать возможность перестройки в заданном диапазоне.

Простейший резонатор для создания обратной связи – резонатор Фабри – Перо, образованный двумя плоскопараллельными зеркалами или отражателями любого другого типа (рисунок 6). На длине резонатора L_{opt} расположено целое число q периодов стоячей волны, равных $\lambda_{рез}/2$. В частности, в простейшем полупроводниковом лазере роль отражателей играют торцы активного элемента – полупроводникового кристалла.

Сами отражатели в таких лазерах являются неселективными, поэтому резонансные частоты ν_q определяются резонансными свойствами интерферометра Фабри – Перо:

$$\nu_q = \frac{qc}{2L_{opt}}, \quad (2)$$

где q – целое положительное число; L_{opt} – оптическая длина резонатора.

Оптическая длина резонатора с расстоянием между зеркалами L (геометрическая длина), заполненного однородным прозрачным материалом, с показателем преломления n определяется выражением $L_{opt} = nL$.

Только в лазерах с вертикальным резонатором обеспечивается одномодовый режим генерации, так как типичные размеры резонатора имеют величину несколько микронметров.

Перестраиваемый лазер с селектором на основе дифракционной решетки. Широкое применение для перестройки полупроводниковых лазеров нашли селекторы на основе дифракционной решетки, используемой по модифицированной схеме Литтмана-Меткалфа, так как такие селекторы обладают уникальным сочетанием узкополосности фильтра с широким диапазоном перестройки. В лазере с внешним резонатором из-за большой длины резонатора и плотного расположения продольных мод для обеспечения одномодового режима требуется достаточно узкополосный селектор, обеспечивающий необходимый уровень вносимых потерь для нерабочих продольных мод. Механизм селекции частоты лазера с внешним резонатором и комбинированным селектором на основе дифракционной решетки приведен на рисунке 7.

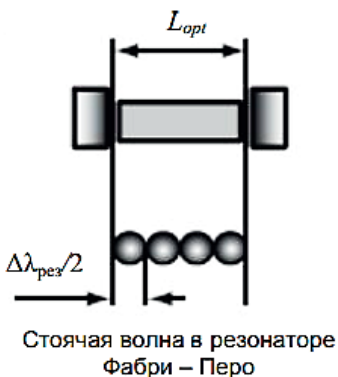


Рисунок 6 – Схема лазера с резонатором Фабри – Перо

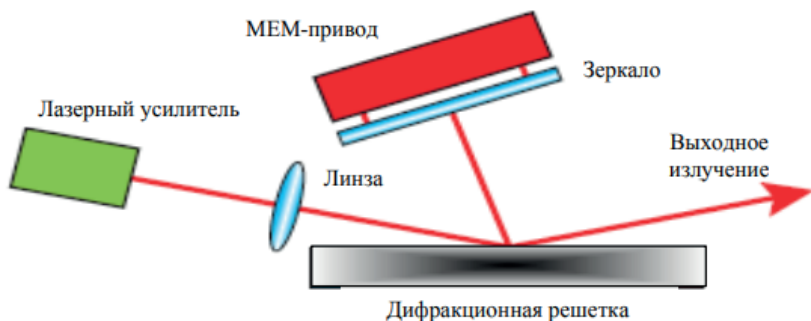


Рисунок 7 – Схема перестраиваемого лазера с селектором на основе дифракционной решетки

Резонатор лазера образован одним из торцов лазерного чипа, дифракционной решеткой и перестраиваемым зеркалом. Дифракционная решетка работает на одном из больших порядков дифракции, что обеспечивает ее высокую дисперсию и, следовательно, селективность. Различные спектральные компоненты отражаются от решетки под разными углами. Генерация осуществляется на той длине волны, для которой дифрагированный на решетке луч перпендикулярен поверхности зеркала.

Перестройка частоты достигается изменением наклона зеркала с помощью микроэлектромеханического привода. Перестраиваемые лазеры с брэгговскими решетками. Активная среда полупроводниковых лазеров представляет собой диэлектрический волновод, ограничивающий световой пучок в поперечном к оптической оси сечении. Для создания перестраиваемых волноводных лазеров необходимо использовать волноводные перестраиваемые селекторы. Роль селекторов играют периодические отражающие структуры с пространственным периодом порядка половины длины световой волны. Такие резонансные периодические структуры используются для создания обратной связи (брэгговские решетки). Они наносятся на поверхность волновода либо вытравливаются в них.

В лазерах с распределенной обратной связью (DFB-лазеры) решетка создается в активной среде. Обратная связь возникает вследствие брэгговского отражения, распределенного равномерно по всей активной области (рисунок 8, а). В лазерах с распределенными брэгговскими отражателями (DBR-лазеры) периодические структуры используются в качестве резонансных отражателей, размещенных вне активной среды (рисунок 8, б). Поскольку селективно отражающая и активная (усиливающая) области пространственно разделены, такие лазеры предоставляют больше возможностей для управления спектром излучения.

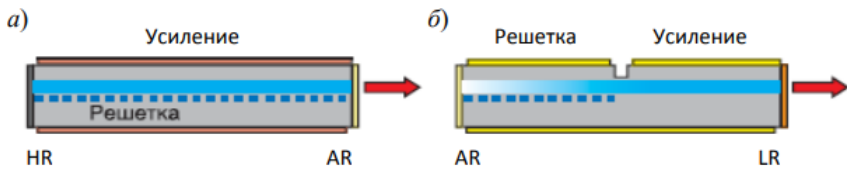


Рисунок 8 – Структурные схемы волноводных лазеров с периодическими структурами (решетками), используемыми для создания обратной связи: *a* – DFB-лазер; *б* – DBR-лазер

На основе DFB- или DBR-лазеров можно создавать интегрированные на одной планарной структуре фотонные устройства, включающие в себя перестраиваемый лазер, модулятор и усилитель.

Перестраиваемые лазеры с вертикальными резонаторами. В лазерах с вертикальным резонатором (VCSEL) ось резонатора перпендикулярна плоскости слоев гетероструктуры, выполняющей роль активной усиливающей области. Поперечный размер активного слоя – доли микрометра, поэтому длина резонатора VCSEL тоже очень мала. Благодаря этому, во-первых, обеспечивается селекция одной продольной моды, а во-вторых, перестройка длины волны может быть осуществлена изменением оптической длины резонатора. Наиболее простой способ изменения оптической длины резонатора состоит в механическом перемещении одного из зеркал резонатора.

На рисунке 9 приведен перестраиваемый VCSEL мембранного типа, а на рисунке 10 – VCSEL консольного типа. Перестройка осу-

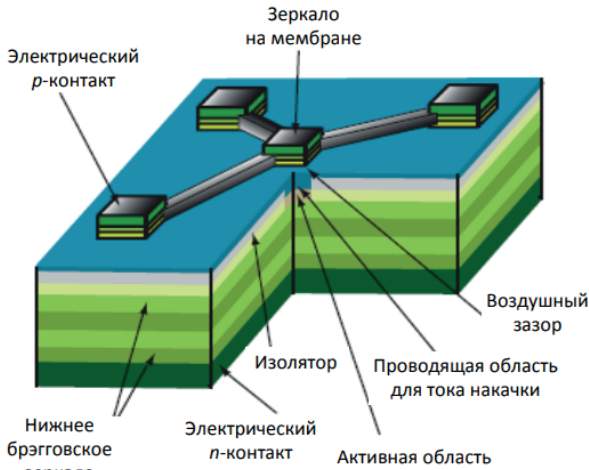


Рисунок 9 – Структурная схема перестраиваемого лазера с вертикальным резонатором мембранного типа (диапазон настройки – 30 нм)

ществляется перемещением верхнего подвижного зеркала, отделенного от пассивной n-области небольшим воздушным зазором. Перемещение зеркала, как и в других типах микроэлектромеханических устройств, осуществляется электростатическими силами при создании разности потенциалов между перемещающимся зеркалом и верхней частью полупроводниковой гетероструктуры. Для крепления зеркала используются механические устройства консольного или мембранного типа. Область перестройки VCSEL может достигать сотен нанометров и совпадать с шириной полосы усиления активного элемента.

Скорость перестройки и диапазон управляющих напряжений определяются конструкцией подвижного зеркала. Перемещение подвижного зеркала перестраиваемого VCSEL осуществляется за счет изменения электростатического притяжения подвижного зеркала и подстилающей области полупроводника при изменении разности потенциалов между ними. Типичные значения времени перестройки лежат в диапазоне от сотен микросекунд до единиц миллисекунд, включая время срабатывания цепи обратной связи для точной подстройки частоты.

Диапазон перестройки VCSEL равен минимальному из четырех спектральных диапазонов: – диапазона перестройки резонатора, определяемого конструкцией крепления перемещаемого зеркала; – области свободной дисперсии резонатора; – ширины спектра усиления активного вещества; – спектра отражения брэгговского зеркала. Так же, как

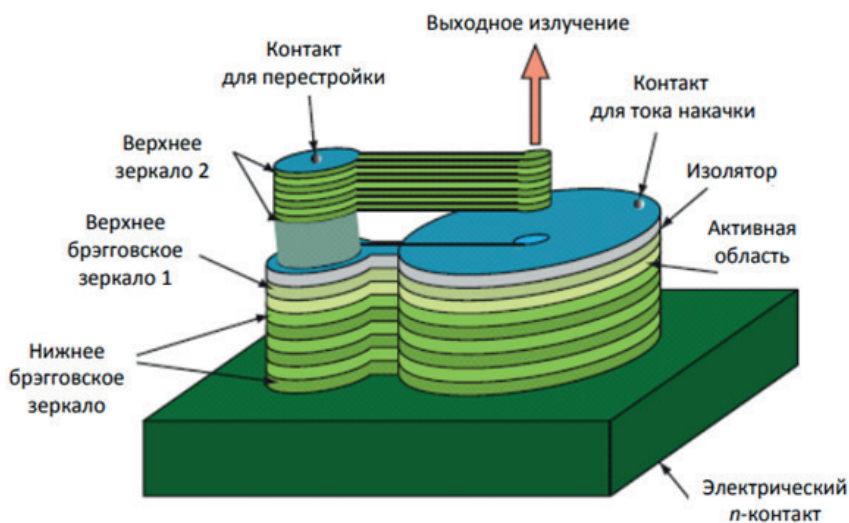


Рисунок 10 – Структурная схема перестраиваемого лазера консольного типа

и в VCSEL с фиксированной длиной волны, в перестраиваемых VCSEL удается выделить одну поперечную моду с коэффициентом подавления боковых мод более 20 дБ за счет уменьшения апертуры рабочей области до относительно малых размеров. Уменьшение рабочей области ограничивает достижимую выходную мощность, типичные значения которой лежат в диапазоне десятых долей милливатта.

При падении луча света на границу раздела двух сред в общем случае появляются эффекты отражения и преломления волны. Среда, у которой показатель преломления больше, называется оптически более плотной, а вторая – менее плотной. В соответствии с законом Снеллиуса углы падения α , отражения β и преломления γ (рисунок 11) связаны следующими соотношениями:

- закон отражения: $\alpha = \beta$;
- закон преломления: $n_c \sin \alpha = n_o \sin \gamma$.

Если луч переходит из оптически более плотной среды в менее плотную $n_c > n_o$, то $\gamma > \alpha$. Путем увеличения угла падения можно достичь состояния, при котором преломленный луч будет скользить по границе раздела сред, не переходя в другую среду.

Угол падения, при котором имеет место данный эффект, называется критическим углом $\alpha_{кр}$ полного внутреннего отражения (см. рисунок 11). Для критического угла $\alpha_{кр}$ имеет место следующее отношение:

$$\sin \alpha_{кр} = \frac{n_o}{n_c}. \tag{3}$$

Для всех углов падения, больших критического ($\alpha > \alpha_{кр}$), будут наблюдаться явления полного внутреннего отражения. Вся мощность

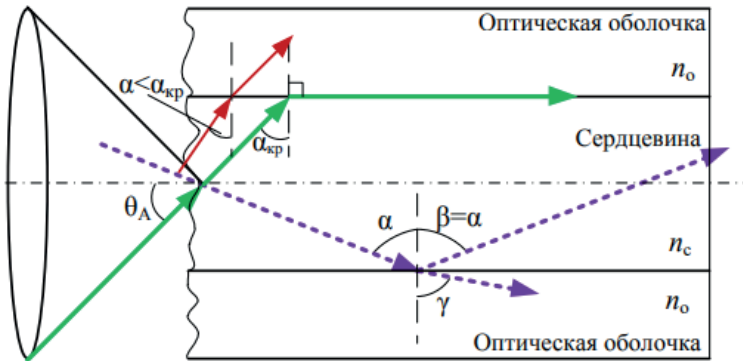


Рисунок 11 – Прохождение луча через границу раздела двух сред

светового луча практически полностью возвращается в область более плотной среды. На этом эффекте основан принцип передачи оптического излучения по ОВ.

Свет, попадающий на границу под углом меньше критического, будет проникать в оптическую оболочку и затухать по мере распространения в ней. Оптическая оболочка обычно не предназначена для переноса света, и свет в ней достаточно быстро затухает.

Таким образом, для обеспечения условия полного внутреннего отражения при распространении световых лучей необходимо обеспечить ввод излучения в торец ОВ под углом меньше θ_A (см. рисунок 11).

Угол θ_A между оптической осью и одним из лучей, образующих световой конус, для которого в дальнейшем выполняется условие полного внутреннего отражения, носит название апертуры ОВ.

Физически апертура характеризует эффективность ввода оптического излучения в ОВ, а для ее числовой оценки используется понятие числовой апертуры NA

$$NA = \sin \theta_A . \quad (4)$$

Для теоретических расчетов числовой апертуры ступенчатого ОВ используется следующая формула:

$$NA = \sqrt{n_c^2 - n_0^2} . \quad (5)$$

Для практических расчетов числовой апертуры учитывается коэффициент k , который в соответствии со стандартом EIA-455-29 и EIA-455-44 равен 0,98 и 0,94 соответственно:

$$NA = k \sqrt{n_c^2 - n_0^2} . \quad (6)$$

Для градиентных ОВ вводится понятие локальной числовой апертуры, которая показывает, что максимальный угол ввода оптического излучения в этом случае определяется тем, в какой точке сердцевины ОВ находится вершина конуса, иными словами, захват ОВ вводимого луча света зависит от того, в какой точке сердечника он вводится в градиентное ОВ.

Для градиентного волокна с параболическим профилем показателя преломления локальная числовая апертура определяется выражением

$$NA = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{n_c^2 - n_0^2} . \quad (7)$$

Фактически количество оптической мощности, воспринимаемой ОВ, изменяется пропорционально квадрату NA. Числовая апертура ОВ не зависит от его физических размеров.

Из (7) видно, что с увеличением разности показателей преломления сердечника и оболочки значение NA возрастает и, следовательно, улучшается эффективность ввода излучения в ОВ.

От значения NA зависят эффективность ввода излучения лазера или светодиода в волоконный световод, потери на микроизгибах, дисперсия импульсов, число распространяющихся мод.

Внутреннее отражение служит основой для распространения света вдоль обычного ОВ. Однако при анализе происходящих процессов учитываются только меридианные лучи, проходящие через центральную ось волокна после каждого отражения. Другие лучи, называемые асимметричными, движутся вдоль волокна, не проходя через его центральную ось. Траектория асимметричных лучей представляет собой спираль, накручивающуюся вокруг центральной оси. Асимметричные лучи, как правило, игнорируются в анализе большинства волоконно-оптических процессов.

Примерные задания государственного экзамена по направлению (практическая часть)

1 вопрос

1. Произведите измерение затухания в оптическом волокне методом замещения (МЭК 874-1) с помощью оптического тестера. Опишите работу лазерного источника излучения и измерителя мощности. Перечислите основные характеристики типового прибора, приборные и методические погрешности измерения потерь.

2. Определите коэффициент ошибок (BER) от расстояния по линии при мощности источника $P=2\text{dBm}$ с помощью демонстрационной программы Attenuation-Limited Fiber Length импортированную из программы OptiPerformer. При какой длине линии Q-фактор достигнет меньше допустимой величины равной 6? Проведите интерпретацию полученных результатов.

3. Определите основные характеристики линии передачи при длине линии $L = 100$ км с помощью Attenuation-Limited Fiber Length импортированную из программы OptiPerformer. Прокомментируйте полученные результаты. Как с увеличением мощности источника они изменятся?

4. Спроектируйте и смоделируйте волоконно-оптическую систему с использованием волокна с компенсацией дисперсии для умень-

шения хроматической дисперсии с помощью программы Dispersion Compensation импортированную из программы OptiPerformer. Длина линии передачи и потери 60 км и 6 дБ соответственно. Остальные параметры установлены в программе. Проведите интерпретацию полученных результатов.

5. Соберите линию связи с оптическим фильтром и используя программу Gain Master проведите моделирование процессов преобразования сигнала. Проведите анализ результатов моделирования и сделайте выводы о параметрах и характеристиках исследуемого волоконно-оптического компонента.

6. Рассчитайте максимальную длину волокна с затуханием 5дБ и удельными потерями 0,5 дБ/км на основе уравнения баланса мощности. Бюджет мощности системы составляет 6 дБ, допустимый Q -фактор равен 6. Проведите моделирование с помощью программы Attenuation-Limited Fiber Length импортированную из программы OptiPerformer и убедитесь, что она соответствует нормативным требованиям.

2 вопрос

1. Рассчитать коэффициент широкополостности W одномодового оптического волокна при $B(\lambda) = 20 \text{ пс} / \text{нм} * \text{км}$, $M(\lambda) = 10 \text{ пс} / \text{нм} * \text{км}$, $\Delta\lambda = 0,1 \text{ нм}$ и $L = 1 \text{ км}$.

Ответьте на контрольные вопросы:

- 1) Что такое ширина спектра источника излучения $\Delta\lambda$?
- 2) Что такое относительная ширина спектра излучения?
- 3) Что такое материальная дисперсия?

2. Вычислите значения числовой апертуры NA, максимального угла ввода излучения в волокно Ω_m , а также величину дисперсионного параметра $\frac{\Delta T}{L}$ для ступенчатых волокон со следующими параметрами: $n_1 = 1,460$; $n_2 = 1$ (волокно без оболочки). Окружающая среда – воздух ($n_0 = 1$). Дисперсионный параметр $\frac{\Delta T}{L}$ выразите в нс/км.

Сделайте вывод. В выводе отметить, как влияет увеличение разницы показателей преломления Δn на величину NA, Ω_m и величину межмодовой дисперсии.

Ответьте на контрольные вопросы:

- 1) Что такое числовая апертура?
- 2) Что такое дисперсия?
- 3) Какие виды дисперсии Вы знаете?
- 4) Что такое межмодовая дисперсия?

3. Сколько мод будет распространяться в волокне на длине волны: а) $\lambda = 1360$ нм? Диаметр сердцевины волокна 8,3 мкм, диаметр оболочки 125 мкм. Показатель преломления сердцевины 1,468; $\Delta = 0,48$ %.

Ответьте на контрольные вопросы:

- 1) Дайте определение нормированная частота?
- 2) Как найти количество мод, распространяющихся в волокне:
 - а) для малых значений параметра V ,
 - б) для больших значений параметра V ?
- 3) Сформулируйте условие, при котором в волокне распространяется только одна мода?

4. Определите число мод, которое будет распространяться в градиентном волокне с диаметром сердцевины 62,5 мкм и диаметром оболочки 125 мкм. Показатель преломления сердцевины 1,465, показатель преломления оболочки 1,455.

Расчет провести для двух длин волн: а) $\lambda = 1580$ нм.

Ответьте на контрольные вопросы:

- 1) Дайте определение нормированная частота?
- 2) Как найти количество мод, распространяющихся в волокне:
 - а) для малых значений параметра V ,
 - б) для больших значений параметра V ?
5. Найти диаметр сердцевины волокна, в котором будет распространяться только одна мода (ступенчатое волокно с показателем преломления сердцевины 1,469; $\Delta = 0,68$ %).

Расчет провести для длины волны $\lambda = 1360$ нм.

Ответьте на контрольные вопросы:

- 1) Дайте определение нормированная частота?
- 2) Как найти количество мод, распространяющихся в волокне:
 - а) для малых значений параметра V ,
 - б) для больших значений параметра V ?
6. Рассчитайте число мод, распространяющихся в волокне с показателем преломления сердцевины 1,48 и показателем преломления оболочки 1,45. Диаметр сердцевины 100 мкм, диаметр оболочки 140 мкм.

Расчет провести для длины волны $\lambda = 850$ нм.

Ответьте на контрольные вопросы:

- 1) Дайте определение нормированная частота?
- 2) Как найти количество мод, распространяющихся в волокне:
 - а) для малых значений параметра V ,
 - б) для больших значений параметра V ?

3 вопрос

1. В системе LTSpice создать логические элементы 4И-НЕ и 4ИЛИ-НЕ используя базовые логические элементы 2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ и элемент НЕ.

Использовать параметры моделей транзисторов с именами P1 и N1 из файла modeliN1P1.txt и провести анализ по постоянному току (.DC) получив статические передаточные характеристики напряжения и тока.

Для обоих элементов выполнить анализ протекания переходных процессов при подаче входных сигналов Vx1 и Vx2 в виде прямоугольных импульсов со скважностью $Q=2$ и периодом 80 нс сдвинутых на 20 нс относительно друг друга. Третий входной сигнал Vx3 подать синхронно с Vx1 в виде меандра с периодом 160 нс. Четвертый входной сигнал Vx4 подать синхронно с Vx1 в виде меандра с периодом 320 нс. Определить времена переключения и времена задержки распространения выходных сигналов. Напряжение питания +5 В, нагрузка емкостная в виде двух конденсаторов емкостью 0,2 пФ подключаемых от каждого выхода на питание и «землю».

2. В системе LTSpice создать базовые логические элементы нижнего уровня иерархии (на транзисторном уровне): 3И-НЕ и 3ИЛИ-НЕ. Использовать параметры моделей транзисторов с именами P1 и N1 из файла modeliN1P1.txt и провести анализ по постоянному току (.DC) получив статические передаточные характеристики напряжения и тока.

Для обоих элементов выполнить анализ протекания переходных процессов при подаче входных сигналов Vx1 и Vx2 в виде прямоугольных импульсов со скважностью $Q=2$ и периодом 80 нс сдвинутых на 20 нс относительно друг друга. Третий входной сигнал Vx3 подать синхронно с Vx1 в виде меандра с периодом 160 нс. Определить времена переключения и времена задержки распространения выходных сигналов. Напряжение питания +5 В, нагрузка емкостная в виде двух конденсаторов емкостью 0,2 пФ подключаемых от каждого выхода на питание и «землю».

3. В системе LTSpice создать базовые логические элементы нижнего уровня иерархии (на транзисторном уровне): инвертор и двунаправленный ключ. Использовать параметры моделей транзисторов с именами P1 и N1 из файла modeliN1P1.txt. провести анализ по постоянному току (.DC) получить статические передаточные характеристики напряжения и тока для элемента НЕ.

Для обоих элементов выполнить анализ протекания переходных процессов при подаче входного сигнала в виде прямоугольных импульсов со скважностью $Q=2$ и периодом 80 нс. Напряжение питания +5 В,

нагрузка емкостная в виде двух конденсаторов емкостью 0,2 пФ подключаемых от каждого выхода на питание и «землю».

Тактирование ключа производить двуполярными импульсами длительностью 4 нс с периодом 40 нс.

4. В системе LTSpice создать базовые логические элементы нижнего уровня иерархии (на транзисторном уровне): 2И-НЕ и 2ИЛИ-НЕ. Использовать параметры моделей транзисторов с именами P1 и N1 из файла modeliN1P1.txt. провести анализ по постоянному току (.DC) получить статические передаточные характеристики напряжения и тока.

Для обоих элементов выполнить анализ протекания переходных процессов при подаче входных сигналов в виде прямоугольных импульсов со скважностью $Q=2$ и периодом 80 нс, сдвинутых на 20 нс относительно друг друга. Определить времена переключения и времена задержки распространения выходных сигналов. Напряжение питания +5 В, нагрузка емкостная в виде двух конденсаторов емкостью 0,2 пФ подключаемых от каждого выхода на питание и «землю».

5. В системе LTSpice создать логические элементы «исключающее ИЛИ» используя базовые логические элементы 2И-НЕ, 2ИЛИ-НЕ и элемент НЕ по классическому варианту, реализуя выражение $Y = VX1 * NVX2 + NVX1 * VX2$ и его быстродействующий аналог на двух элементах НЕ и двух двунаправленных ключах на КМОП транзисторах.

Использовать параметры моделей транзисторов с именами P1 и N1 из файла modeliN1P1.txt и провести анализ по постоянному току (.DC) получив статические передаточные характеристики напряжения и тока.

Для обоих элементов выполнить анализ протекания переходных процессов при подаче входных сигналов $Vx1$ и $Vx2$ в виде прямоугольных импульсов со скважностью $Q=2$ и периодом 80 нс и сигнала $Vx2$ поданного синхронно с $Vx1$ в виде меандра с периодом 160 нс. Определить времена переключения и время задержки распространения выходного сигнала для обоих вариантов логического элемента. Напряжение питания +5 В, нагрузка емкостная в виде двух конденсаторов емкостью 0,2 пФ подключаемых от каждого выхода на питание и «землю».

6. Создать логический элемент «полусумматор» используя базовые логические элементы, а также элементы 2И и «исключающее ИЛИ».

Использовать параметры моделей транзисторов с именами P1 и N1 из файла modeliN1P1.txt и провести анализ по постоянному току (.DC) получив статические передаточные характеристики напряжения и тока.

Выполнить анализ протекания переходных процессов (анализ .TRAN) при подаче входных сигналов Vx1 и Vx2 в виде прямоугольных импульсов со скважностью Q=2 и периодом 80 нс и сигнала Vx2 поданного синхронно с Vx1 в виде меандра с периодом 160 нс. Определить времена переключения и время задержки распространения выходного сигнала при использовании быстродействующего элемента «исключающее ИЛИ». Напряжение питания +5 В, нагрузка емкостная в виде двух конденсаторов емкостью 0,2 пФ подключаемых от каждого выхода на питание и «землю». Показать соответствие работы полусумматора таблице истинности.

ОБРАЗЕЦ ОТВЕТА НА 2 ВОПРОС

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

Приравнявая выражения $\tau_{chr} = D\Delta\lambda L$ и $\tau_{pmd} = T\sqrt{L}$, находим $L_0 = (T / D\Delta\lambda)^2 = 25$ км. Если при $L > L_0$, поляризационной модовой дисперсией можно пренебречь, то при $L < L_0$, наоборот, ее следует строго учитывать. Проблема поляризационной модовой дисперсии возникает при обсуждении проектов построения супермагистралей (>100 Гбит/с) городского масштаба.

2. Оценить максимально допустимое расстояние оптического сегмента L_{max} , на которое можно передать одноканальный сигнал с частотой $f = 100$ ГГц без ретрансляции, исходя из ограничений, вносимых поляризационной модовой дисперсией, если коэффициент поляризационной модовой дисперсии $T = 0,1$ пс/км.

На основании соотношения $W = \frac{0,44}{\tau}$ получаем: $\tau_{pmd} = T\sqrt{L} < \frac{0,44}{W}$.

Отсюда $L_{max} = \left(\frac{0,44}{WT}\right)^2 = \left(0,44 / (100 * 10^9 * 1 * 10^{-12})\right)^2 \approx 19$ км. При

$T = 0,5$ пс/км расстояние возрастает до 77 км.

5. ПОДГОТОВКА К СДАЧЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

Подготовка к сдаче государственного экзамена предполагает два этапа: организационные мероприятия, проводимые физико-техниче-

ским институтом (в том числе и с привлечением обучающихся), и самостоятельную подготовку обучающегося.

Организационная подготовка к государственному экзамену

Организационная подготовка к государственному экзамену проводится выпускающей кафедрой фундаментальной физики, электроники и систем связи физико-математического факультета физико-технического института в сроки, предусмотренные графиком учебного процесса.

Организационная подготовка к экзамену включает:

- рассмотрение программы государственного экзамена на выпускающей кафедре;
- подготовку экзаменационных билетов;
- проведение обзорных лекций и групповых и индивидуальных консультаций по каждой дисциплине, вошедшей в государственный экзамен.

Утверждённая программа итоговой государственной аттестации доводится до сведения обучающихся не позднее, чем за полгода до начала сдачи государственного экзамена.

Самостоятельная подготовка к государственному экзамену

Самостоятельная подготовка к государственному экзамену – одна из наиболее сложных и в то же время плодотворных видов (форм) вузовского обучения и воспитания. Она представляет собой планируемую учебную, учебно-исследовательскую, научно-исследовательскую работу обучающихся, выполняемую во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве соответствующих преподавателей, но без их непосредственного участия.

Значение самостоятельной подготовки к государственному экзамену определяется требованиями диалектического метода, важнейшим из которых являются проверка теоретических положений на практике и неразрывная связь теории с практикой.

К современному инженеру общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников, систематизировать полученную информацию, давать оценку конкретной ситуации. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения и находит свое итоговое воплощение в сдаче государственного экзамена.

В процессе самостоятельной работы обучающийся приобретает навыки самоорганизации, самоконтроля, самоуправления и становится активным самостоятельным субъектом учебной деятельности.

Целью самостоятельной подготовки обучающихся является овладение фундаментальными знаниями, профессиональными умениями и навыками деятельности по профилю, опытом творческой, исследовательской деятельности. Самостоятельная работа обучающихся способствует развитию самостоятельности, ответственности и организованности, творческого подхода к решению проблем учебного и профессионального уровня.

Задачами самостоятельной подготовки являются:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и практических умений обучающихся;
- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности обучающихся: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений;
- использование материала, собранного и полученного в ходе самостоятельных занятий для эффективной сдачи государственного экзамена.

Одним из этапов самостоятельной подготовки является изучение соответствующих тем, разделов в учебниках и учебных пособиях и только после этого, когда уже имеется необходимая теоретическая база для уяснения более сложного материала, необходимо приступить к изучению рекомендованной дополнительной литературы, содержащей информацию по проблемным вопросам темы. В случае затруднения можно обратиться за помощью к преподавателю, который ведет соответствующую дисциплину.

Правильный подбор учебников рекомендуется преподавателем, читающим соответствующий курс. Изучая материал по учебнику, следует переходить к следующему вопросу только после правильного уяснения предыдущего. Особое внимание следует обратить на определение основных понятий курса. Обучающийся должен подробно разбирать примеры, которые поясняют такие определения, и уметь строить аналогичные примеры самостоятельно. Нужно добиваться точного представления о том, что изучаешь. Полезно составлять опорные кон-

спекты. При изучении материала по учебнику полезно в тетради дополнять конспект лекций. Там же следует отмечать вопросы, выделенные обучающимся для консультации с преподавателем.

6. СДАЧА И ОЦЕНИВАНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

Государственный экзамен представляет собой форму оценки степени и уровня освоения обучающимися логики реализации полученных знаний в профессиональной деятельности. Он проводится на основе принципа объективности оценки качества подготовки обучающихся для определения соответствия результатов освоения обучающимися образовательной программы по направлению подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, профиль подготовки «Оптические системы и сети связи», существующим требованиям образовательного стандарта.

Для приёма экзамена создаётся государственная экзаменационная комиссия (ГЭК). К государственному экзамену допускается обучающийся, не имеющий академической задолженности и в полном объеме выполнивший учебный план по направлению подготовки высшего образования. Обучающимся и лицам, привлекаемым к государственному экзамену, во время его проведения запрещается иметь при себе и использовать средства связи.

Государственный экзамен включает в себя устный ответ на вопросы экзаменационного билета. На подготовку к ответу первому обучающемуся предоставляется до 45 минут. Продолжительность государственного экзамена на одного обучающегося, как правило, не должна превышать 30 минут.

Получение неудовлетворительной оценки по государственному экзамену лишает обучающегося права прохождения других видов аттестационных испытаний. После завершения ответов всех обучающихся на экзаменационные вопросы, они вновь приглашаются в аудиторию, где работает ГЭК, для оглашения председателем ГЭК итоговых оценок. Председатель ГЭК отмечает лучших обучающихся, высказывает общие замечания. В заключении Председатель комиссии поздравляет выпускников со сдачей государственного экзамена.

Пересдача экзамена для повышения положительной оценки не допускается. Выпускник, имеющий неудовлетворительную оценку по государственному экзамену, не допускается к следующему виду аттестационных испытаний – защите выпускной квалификационной работы.

Критерии оценивания на государственном экзамене

При определении оценки качества знаний, уровня сформированности знаний, умений и навыков обучающихся государственная экзаменационная комиссия руководствуется следующими критериями:

Критерии оценки ответов студентов на экзамене.

Ответ оценивается на **«отлично»**, если студент демонстрирует:

- глубокое владение материалом;
- осознанный и обобщенный уровень ответа;
- предметную и методическую эрудицию, использование при ответе материалов специальной литературы по предмету и смежным дисциплинам;
- умение показать значение теоретических вопросов для практики и подтвердить теоретические положения практическими примерами;
- умение раскрыть имеющийся у него практический опыт с точки зрения теории;
- определение своей позиции в раскрытии различных подходов к рассматриваемой проблеме, умение провести их сравнительный анализ;
- логичность, последовательность, точность, обоснованность, культуру изложения.

Ответ оценивается на **«хорошо»**, если студент демонстрирует:

- владение программным материалом на достаточно высоком уровне, но в ответе допускает некоторые неточности, незначительные ошибки, которые исправляются самим студентом;
- осознанный и обобщенный уровень ответа;
- использование при ответе материалов специальной литературы по предмету и смежным дисциплинам;
- умение показать значение теоретических вопросов для практики и подтвердить теоретические положения практическими примерами;
- умение раскрыть имеющийся у него практический опыт с точки зрения теории;
- логичность, последовательность, точность, обоснованность, культуру изложения.

Ответ оценивается на **«удовлетворительно»**, если студент демонстрирует:

– владение программным материалом при недостаточно осознанном и обобщенном уровне владения теорией, неумение связать ее с практикой;

– неумение использовать при ответе материалы специальной литературы по предмету и смежным дисциплинам;

– недостаточно высокий уровень культуры речи, логичности, последовательности изложения материала;

Ответ оценивается на **«неудовлетворительно»**, если студент демонстрирует:

– отсутствие или недостаточное знание программного материала;

– недопустимое искажение смысла понятий и определений;

– существенные пробелы в логичности и последовательности излагаемого материала.

7. ПОРЯДОК ПОДАЧИ АПЕЛЛЯЦИИ

По результатам государственной аттестации выпускник, участвовавший в государственной итоговой аттестации, имеет право подать в апелляционную комиссию письменное апелляционное заявление о нарушении, по его мнению, установленного порядка проведения государственной итоговой аттестации и (или) несогласии с ее результатами (далее – апелляция).

Апелляция подается в апелляционную комиссию, созданную приказом ректора ПГУ, лично выпускником или родителями (законными представителями) несовершеннолетнего выпускника.

Апелляция о нарушении порядка проведения ГИА подается непосредственно в день ее проведения.

Апелляция о несогласии с результатами ГИА подается не позднее следующего рабочего дня после объявления ее результатов.

Апелляция рассматривается апелляционной комиссией, созданной приказом ректора ПГУ одновременно с утверждением состава ГЭК, не позднее трех рабочих дней с момента ее поступления.

Апелляция рассматривается на заседании апелляционной комиссии с участием не менее двух третей ее состава.

На заседание апелляционной комиссии приглашается председатель соответствующей государственной экзаменационной комиссии.

Выпускник, подавший апелляцию, имеет право присутствовать при рассмотрении апелляции.

С несовершеннолетним выпускником имеет право присутствовать один из родителей (законных представителей).

Указанные лица должны иметь при себе документы, удостоверяющие личность.

Рассмотрение апелляции не является пересдачей государственной итоговой аттестации.

При рассмотрении апелляции о нарушении порядка проведения ГИА апелляционная комиссия устанавливает достоверность изложенных в ней сведений и выносит одно из решений:

– об отклонении апелляции, если изложенные в ней сведения о нарушениях порядка проведения ГИА выпускника не подтвердились и (или) не повлияли на результат аттестации;

– об удовлетворении апелляции, если изложенные в ней сведения о допущенных нарушениях порядка проведения ГИА выпускника подтвердились и повлияли на результат аттестации.

В последнем случае результат аттестации подлежит аннулированию, в связи с чем протокол о рассмотрении апелляции не позднее следующего рабочего дня передается в государственную экзаменационную комиссию для реализации решения комиссии. Выпускнику предоставляется возможность пройти ГИА в дополнительные сроки, установленные образовательной организацией.

Для рассмотрения апелляции о несогласии с результатами государственной итоговой аттестации, полученными при защите выпускной квалификационной работы, секретарь государственной экзаменационной комиссии не позднее следующего рабочего дня с момента поступления апелляции направляет в апелляционную комиссию ВКР, протокол заседания ГЭК и заключение ее председателя о соблюдении процедурных вопросов при защите подавшего апелляцию выпускника.

В результате рассмотрения апелляции о несогласии с результатами ГИА апелляционная комиссия принимает решение об отклонении апелляции и сохранении результата аттестации либо об удовлетворении апелляции и выставлении иного результата аттестации. Решение апелляционной комиссии не позднее следующего рабочего дня передается в ГЭК. Решение апелляционной комиссии является основанием для аннулирования ранее выставленных результатов ГИА выпускника и выставления новых.

Решение апелляционной комиссии принимается простым большинством голосов. При равном числе голосов голос председательствующего на заседании апелляционной комиссии является решающим.

Решение апелляционной комиссии доводится до сведения подавшего апелляцию выпускника (под роспись) в течение трех рабочих дней со дня заседания апелляционной комиссии.

Решение апелляционной комиссии оформляется протоколом, который подписывается председателем и секретарем апелляционной комиссии и хранится в архиве ПГУ.

Решение апелляционной комиссии является окончательным и пересмотру не подлежит.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

1. Абилов А.В. Сети связи и системы коммутации. М., Радио и связь, 2004г., 288 с.

2. Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов. Пер. с англ. - М.: Мир, 1984. - 512 с.: ил.

3. Аджемов А.С. Телекоммуникации, инфокоммуникации - что дальше? / М.: Медиа Паблишер - 2011.

4. Аджемов А.С., Кучерявый А.Е. Система сигнализации ОКС №7. М.: Радио и связь, 2002 -367с.

5. Андрушко, Л.М. Волоконно-оптические линии связи / Л.М. Андрушко, И.И. Гроднев, И.П. Панфилов. - М.: Радио и связь, 1985. - 136 с.

6. Беллами Дж. Цифровая телефония. (Перевод с англ.), М., Эко-Трендз, 2005г., 640с.

7. Берлин А. И. Коммутация в системах и сетях связи М.: Эко-Трендз, 2006г. - 344 с.

8. Бурдин А.В. Методы и средства измерений в телекоммуникационных системах (конспект лекций), <http://lsits.psuti.ru/materials.html>, 2010.

9. Буй П.М., Белоусова Е.С., Татур С.С. Волоконно-оптические системы передачи, Гомель, 2018.

10. Былина М.С. и др. Измерения параметров волоконно-оптических трактов. Сакт-Петербург, Изд. С-Пб. ГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича. 2007.

11. Бэйли Д., Райт Э. Волоконная оптика. Теория и практика. М.: КудинцПресс. 2008.

12. Власов В.Е., Парфенов Ю.А., Рысин Л.Г., Кайзер Л.И. Кабели СКС на сетях электросвязи: теория, конструирование, применение. - М.: Эко-Трендз, 2006 - 320с.

13. Гауэр Дж. Оптические системы связи: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 1989. - 504 с.: ил.
14. Горлов Н.И. Метрологическое обеспечение и техническая эксплуатация телекоммуникационных систем (конспект лекций), http://www.studmed.ru/gorlov-ni-metrologicheskoe-obespechenie-i-tehnicheskaya-ekspluatatsiya-telekommunikatsionnyh-sistem_86cda5af115.html.
15. Гроднев, И.И. Волоконно-оптические линии связи / И.И. Гроднев. - М.: Радио и связь, 1990.-224 с.
16. Гроднев, И.И. Линии связи / И.И. Гроднев, С.М. Верник. -- М.: Радио и связь, 1988. - 544 с.
17. Гроднев, И.И. Оптические кабели / И.И. Гроднев, Ю.Т. Ларин, И.И. Теумин. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 174 с.
18. Захаров Н.П., Тимошенко С.П., Крупнов Ю.А. Оптико-электронные узлы электронно- вычислительных средств, измерительных приборов и устройств автоматики. М.: БИНОМ. 2008.
19. Иванов, А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения / А.Б. Иванов. - М.: Компания САЙРУС СИСТЕМ, 1999. - 658 с.
20. Иоргачев Д.В. Волоконно - оптические кабели и линии связи. - М.: ЭКО - ТРЕНДЗ, 2002.-284 с.
21. Листвин, А. В. Оптические волокна для линий связи / А. В. Листвин, В. Н. Листвин, Д. В. Швырков. – М.: Лесар-арт, 2003.
22. Листвин А.В., Листвин В.Н. Рефлектометрия оптических волокон. М.: ЛЕСАРарт, 2005.
23. Малюк А.А., Пазизин С.В., Погожин Н.С. Введение в защиту информации в автоматизированных системах. М., Горячая линия-Телеком, 2008. - 147с.
24. Мандель А.Е. Методы и средства измерения в волоконно-оптических линиях связи. – Томск: ТУСУР, 2006.
25. Митрохин В.Е. Измерения в волоконно-оптических системах передачи: учеб. пособие для вузов ж. д. трансп./ В. Е. Митрохин. - М.: ГОУ УМЦ ЖДТ, 2007.
26. Мурадян, А.Г. Оптические кабели многоканальных линий связи / А.Г. Мурадян, И.С. Гольдфарб, В.П. Иноземцев. - М.: Радио и связь, 1987. - 200 с.
27. Нефедов В.И., Хахин В.И., Федорова Е.В. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах., - М.: Высшая школа, 2001г.
28. Олифер В.Г., Олифер В.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: Учебник для вузов. 4-е изд. - СПб.: Питер, 2011. - 944с.

29. Основы информационной безопасности. Учебное пособие для вузов/ Е.Б. Белов, В.П. Лось, Р.В. Мещеряков, А.А. Шелупанов. - М.: Горячая линия-Телеком, 2011., - 558с.
30. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов/ Под ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалева М.: Горячая линия - Телеком, 2008 - 424с.
31. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи: Конструкции и характеристики. - М.: Горячая линия - Телеком, 2002. - 232 с.: ил.
32. Росляков А.В. ОКС №7: архитектура, протоколы, применение. - М.: Эко-Трендз, 2008 -320с.
33. Руководящий документ РД 45.120-2000. Нормы технологического проектирования: городские и сельские телефонные сети. - М.: УНТИ «Информсвязь», 2000г.
34. Рэфи, Джеймс Дж. Волоконно-оптические кабели - световоды / Джеймс Дж. Рэфи. abc TeleTraining, Inc, 1991.-212 с.
35. Сети следующего поколения NGN. /под ред. Рослякова А.В. М.: Эко-Трендз, 2008 - 424с.
36. Скляр Б. Цифровая связь. М., Изд. Дом Вильямс, 2005г.
37. Скляров О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи. - М.: СОЛОН - Пресс, 2001. - 237с: ил.
38. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. М., Р и Связь. 2000г.
39. Тепляков И.Н. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей. / М.: Радио и связь. 2004г.
40. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. - М.: Эко - Трендз, 2001. - 266 с.
41. Унгер Х. Планарные и волоконные оптические волноводы. - М.: Мир, 1981. - 516 с.
42. Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи, 2 - е дополнительное издание. - М.: Техносфера, 2006. - 496 с.
43. Хансперджер Р. Интегральная оптика: Теория и технология. Пер. с англ. - М.: Мир, 1985. - 384с.:ил.
44. Хромой Б.П. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: учебное пособие/ под общей редакцией Б.Н.Тихонова. - Горячая линия-Телеком, 2007. - 374 с.
45. Цифровые АТС для сельской связи, /под ред. В.Г. Карташевского и А.В. Рослякова - М.: Эко-Трендз, 2003г., 286с.
46. Шумилин Н.П. Измерения в технике проводной связи., - М.: Связь, 2001г.

Учебное издание

ПОДГОТОВКА ОБУЧАЮЩИХСЯ К ГОСУДАРСТВЕННОМУ ЭКЗАМЕНУ
ПО НАПРАВЛЕНИЮ 11.03.02 ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
И СИСТЕМЫ СВЯЗИ,
ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ «ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И СЕТИ СВЯЗИ»

Методические рекомендации

Составители:

**Ольга Федоровна Васильева,
Олеся Васильевна Коровай**

Издается в авторской редакции

Компьютерная верстка *А.Н. Федоренко*

ИЛ № 06150. Сер. АЮ от 21.02.02.

Подписано в печать 05.03.2025. Формат 60х90/16.

Усл. печ. л. 2,375. Электронное издание. Заказ № 538.

Изд-во Приднестр. ун-та. 3300, г. Тирасполь, ул. Мира, 18.