



**КАФЕДРА СВЕРХВЫСОКОЧАСТОТНОЙ И  
КВАНТОВОЙ РАДИОТЕХНИКИ (СВЧиКР)**

**Винокуров В.М., Ефанов В.И, Коханенко А.П.,  
Мандель А.Е., Шандаров В.М., Шарангович С.Н.**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ПОДГОТОВКЕ К АТТЕСТАЦИОННОМУ  
ЭКЗАМЕНУ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 210401 «ФИЗИКА  
И ТЕХНИКА ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ»**

**Учебно-методическое пособие**

**2012**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И  
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ  
(ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники  
(СВЧиКР)

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ПОДГОТОВКЕ К АТТЕСТАЦИОННОМУ ЭКЗАМЕНУ  
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 210401 «ФИЗИКА И ТЕХНИКА  
ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ»**

**Учебно-методическое пособие  
по подготовке к аттестационному экзамену студентов специальности  
210401 «Физика и техника»**

**Томск 2012**

УДК 621.396.22.0297[621.315.2:621.39]

*Рецензент*

Боков Л.А., проректор по УР ТУСУРа, профессор каф.СВЧиКР

Методические указания по подготовке к аттестационному экзамену по специальности 210401 «Физика и техника оптической связи»: учебно-методическое пособие // Винокуров В.М., Ефанов В.И, Коханенко А.П., Мандель А.Е., Шандаров В.М., Шарангович С.Н./ Под ред. С.Н. Шаранговича. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2012. -53 с.

В данном учебно-методическом пособии представлены методические указания по подготовке, организации и проведению государственного экзамена. Основное внимание уделено методическим материалам по организации самостоятельной работы студентов при подготовке к государственному экзамену.

Учебно-методическое пособие содержит разделы определяющие содержание государственного экзамена, тематику экзаменационных вопросов, перечень типовых экзаменационных задач и примеры их решения, и также методические указания по всем дисциплинам, вынесенным на государственный экзамен.

Предназначено для студентов очной и заочной форм обучения по направлению 210400 «Телекоммуникации», специальность 210401 «Физика и техника оптической связи».

*Редактор С.Н. Шарангович*

© Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012

## **СОДЕРЖАНИЕ**

### **Оглавление**

<b>1. ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА.....</b>	<b>5</b>
2.1. Соответствие профессиональных функций и требований к подготовке выпускника.....	5
2.2. Требования к профессиональной подготовленности выпускника и соответствующие виды государственных аттестационных испытаний.....	7
2.3. Основные дисциплины, позволяющие определить соответствие требованиям ГОС в процессе государственного экзамена .....	8
<b>3. ТЕМАТИКА ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ ДИСЦИПЛИН ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА.....</b>	<b>11</b>
3.1 Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства.....	11
3.2. Оптические направляющие среды и пассивные компоненты ВОЛС.....	13
3.3 Оптические цифровые телекоммуникационные системы .....	14.
3.4. Метрология в оптических телекоммуникационных системах.....	16
3.5 Сети связи и системы коммутации.....	17
<b>4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ, ПРОВЕДЕНИЮ И ПОДГОТОВКЕ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА .....</b>	<b>19</b>
<b>5. ТИПОВЫЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ.....</b>	<b>26</b>
<b>6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ЗАДАЧ.....</b>	<b>38</b>
<b>Список литературы.....</b>	<b>52</b>

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Государственным образовательным стандартом по специальности 071700 (210401) «Физика и техника оптической связи» направления подготовки дипломированных специалистов 654400 Телекоммуникации, утвержденным Минобразованием России 10.03.2000 г. (регистрационный № 20-тех/дс), предусмотрена государственная аттестация выпускников в виде:

- государственного экзамена;
- защиты выпускной квалификационной работы.

Программа государственного экзамена составлена на основе «Методических рекомендаций по определению структуры и содержания государственных аттестационных испытаний направления подготовки дипломированных специалистов 654400 телекоммуникации», разработанных УМО по образованию в области телекоммуникаций. от 2002 г., рассмотрена и утверждена на заседании кафедры СВЧиКР 31 марта 2005г., протокол №7.(с дополнениями 29 марта 2012 г. протокол №8).

В данном учебно-методическом пособии представлены методические указания по подготовке, организации и проведению государственного экзамена. Основное внимание уделено методическим материалам по организации самостоятельной работы студентов при подготовке к государственному экзамену.

Учебно-методическое пособие содержит разделы определяющие содержание государственного экзамена (раздел 2), тематику экзаменационных вопросов (раздел 3), перечень типовых экзаменационных задач (раздел 5) и примеры их решения (раздел 6), и также методические указания (раздел 4) по всем дисциплинам, вынесенным на государственный экзамен.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА

### 2.1. Соответствие профессиональных функций и требований к подготовке выпускника

В таблице 1 определено соответствие требований ГОС к профессиональной подготовленности различным видам профессиональной деятельности выпускников.

Таблица 1

Требования ГОС к профессиональной подготовленности выпускника	Виды профессиональной деятельности			
	Производственно	Проектная	Научно-исследователь-	Организационно
Должен знать:				

- принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и распределения информации в сетях связи;	+	+	+	+
- особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем;			+	+
- принципы работы, технические характеристики и конструктивные особенности разрабатываемых и используемых средств связи;	+	+	+	+
- схемотехнику устройств электросвязи;	+	+	+	
- прогрессивные методы технической эксплуатации систем и устройств связи;			+	+
- методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области связи;			+	+
- основы проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации технических средств многоканальных, в том числе волоконно-оптических, систем и линий связи;	+	+	+	+
- требования стандартизации, метрологического обеспечения и безопасности жизнедеятельности при разработке и эксплуатации устройств и систем электросвязи;	+	+	+	+
- основные методы маркетинга и менеджмента в области телекоммуникаций			+	+
<b>Уметь применять:</b>				
- методы проектирования телекоммуникационных сетей, систем, устройств и блоков с технико-экономическим обоснованием принимаемых решений;			+	+
- правила и нормы проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации систем и линий связи;	+	+	+	+
- методы оценки параметров устройств и систем связи;	+	+	+	
- передовые методы технического контроля и диагностики в процессе настройки и эксплуатации средств связи;	+			+
- теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств связи и информатики;			+	+
- технические решения по повышению качества передачи информации и снижению опасных и мешающих влияний в системах связи;	+	+		+
- необходимые меры по обеспечению безопасности жизнедеятельности и охране окружающей среды при производстве, строительстве и эксплуатации систем и устройств связи.	+	+		+

## **2.2. Требования к профессиональной подготовленности выпускника и соответствующие виды государственных аттестационных испытаний**

В таблице 2 определены возможности использования различных видов ито-

говой аттестации для определения соответствия требованиям ГОС.

Таблица 2

Требования ГОС к профессиональной подготовленности выпускника	Вид аттестаци- онного испыта- ния		При- ме- чание
	Госуд. экза- мен	Защита ВКР	
<b>Должен знать:</b>			
- принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и распределения информации в сетях связи;			Текущ. аттест.
- особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем;	+	+	
- принципы работы, технические характеристики и конструктивные особенности разрабатываемых и используемых средств связи;	+	+	Прак- тика
- схемотехнику устройств электросвязи;		+	
- прогрессивные методы технической эксплуатации систем и устройств связи;		+	Прак- тика
- методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области связи;			Текущ. аттест.
- основы проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации технических средств многоканальных, в том числе волоконно-оптических, систем и линий связи;	+	+	Прак- тика
- требования стандартизации, метрологического обеспечения и безопасности жизнедеятельности при разработке и эксплуатации устройств и систем электросвязи;		+	Прак- тика
- основные методы маркетинга и менеджмента в области телекоммуникаций.		+	
<b>Уметь применять:</b>			
- методы проектирования телекоммуникационных сетей, систем, устройств и блоков с технико-экономическим обоснованием принимаемых решений;		+	
- правила и нормы проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации систем и линий связи;	+	+	Прак- тика
- методы оценки параметров устройств и систем связи;	+	+	
- передовые методы технического контроля и диагностики в процессе настройки и эксплуатации средств связи;		+	Прак- тика
- теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств связи и информатики;		+	
- технические решения по повышению качества передачи информации и снижению опасных и мешающих влияний в системах связи;		+	
- необходимые меры по обеспечению безопасности		+	Прак-

жизнедеятельности и охране окружающей среды при производстве, строительстве и эксплуатации систем и устройств связи.			тика
--	--	--	------

### 2.3. Основные дисциплины, позволяющие определить соответствие требованиям ГОС в процессе государственного экзамена

В таблице 3 определены основные дисциплины образовательной профессиональной программы по циклам общепрофессиональных и специальных дисциплин, контроль усвоения которых позволяет определить соответствие требованиям ГОС в процессе итоговой аттестации.

Таблица 3

Требования ГОС к профессиональной подготовленности выпускника	Дисциплины образовательной программы (разделы)									Примечание
	Теория электрической	Безопасность жизне-	Менеджмент	Оптические на-	Сети связи и системы	Оптические цифро- вые телекоммуника-	Сети и системы пере- дачи дискретных	Оптоэлектронные и квантовые приборы	Метрология в оп- тических телеком- муникационных	
<b>Должен знать:</b>										
- принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и распределения информации в сетях связи;	+			+	+	+	+	+		
- особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем;	+			+	+	+	+	+		
- принципы работы, технические характеристики и конструктивные особенности разрабатываемых и используемых средств связи;				+	+	+		+		
- схемотехнику устройств электросвязи;				+		+	+	+		



- прогрессивные методы технической эксплуатации систем и устройств связи;				+	+	+		+	+	
- методы проведения теоретических и экспериментальных исследований в области связи;				+		+		+		
- основы проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации технических средств волоконно-оптических систем и линий связи;				+	+	+	+	+	+	
- требования стандартизации, метрологического обеспечения и безопасности жизнедеятельности при разработке и эксплуатации устройств и систем электросвязи;		+		+		+		+	+	
<b>Уметь применять:</b>										
- методы проектирования телекоммуникационных сетей, систем, устройств и блоков с технико-экономическим обоснованием принимаемых решений;			+	+		+		+		
- правила и нормы проектирования, строительства, монтажа и эксплуатации систем и линий связи;				+		+		+	+	
- методы оценки параметров устройств и систем связи;				+		+	+	+	+	
- передовые методы технического контроля и диагностики в процессе настройки и эксплуатации средств связи;				+		+		+	+	

- теоретические и экспериментальные методы исследования с целью создания новых перспективных средств связи и информатики;				+		+		+		
- технические решения по повышению качества передачи информации и снижению опасных и мешающих влияний в системах связи;			+	+		+		+		
- необходимые меры по обеспечению безопасности жизнедеятельности и охране окружающей среды при производстве, строительстве и эксплуатации систем и устройств связи.		+		+		+		+		

На основании табл.2 и 3 при проведении государственного экзамена по специальности **210401 Физика и техника оптической связи** берутся следующие основные дисциплины, позволяющие определить соответствие требованиям ГОС в процессе государственного экзамена :

- Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства
- Оптические направляющие среды и пассивные компоненты ВОЛС
- Оптические цифровые телекоммуникационные системы
- Метрология в оптических телекоммуникационных системах
- Сети связи и системы коммутации

### **3. ТЕМАТИКА ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ВОПРОСОВ ДИСЦИПЛИН ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА.**

**Программа** государственного экзамена предусматривает подготовку заданий, охватывающих следующие вопросы:

#### **3.1. Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства**

№ темы	Тема	Литература
1	2	3
1	<u>Условия усиления и генерации колебаний в квантовых системах.</u> Виды квантовых переходов. Коэффициенты Эйнштейна. Инверсная населенность. Ширина спектральной линии.	[1], с. 40 - 55, 65 - 72, 84 – 90; [2],

	Взаимодействие бегущих электромагнитных волн с активной средой. Закон Бугера. Условия усиления и генерации колебаний в квантовых системах.	с. 112 - 151; [3], с. 140 – 160.
2	<u>Оптические резонаторы и селекция мод.</u> Оптические резонаторы. Структуры электрических полей. Схемы оптических резонаторов. Резонатор на основе интерферометра Фабри-Перо, спектральные характеристики. Интерференционные фильтры. Перестраиваемые резонаторы. Селекция продольных и поперечных мод.	[1], с. 101 – 127; [2], с. 165 – 210; [3], с. 161 – 167.
3	<u>Типы и режимы работы лазеров.</u> Теоретические основы. Стационарные режимы лазеров. Оптимальная обратная связь. Импульсные режимы. Синхронизация мод. Типы лазеров (газовые, твердотельные, жидкостные) и методы их накачки.	[1], с. 127 – 141, 327 – 400; [2], с. 279 – 319; [3], с. 170 – 183.
4	<u>Материалы полупроводниковой микро- и оптоэлектроники. Гетеропереходы.</u> Одно-, двух-, трех- и четырехкомпонентные полупроводники. Диаграмма связи постоянной кристаллической решетки и ширины запрещенной зоны двойных и тройных полупроводников. Зонная инжекция. Гетеропереходы (согласованные и псевдоморфные).	[1], с. 194 – 204.
5	<u>Полупроводниковые источники излучения.</u> Полупроводниковые лазеры и светоизлучающие диоды на двойных гетеропереходах (GaAs и InP): устройства, характеристики, параметры. Лазеры с распределенной обратной связью и распределенными брэгговским отражением. Лазеры на квантово-размерных эффектах и сверхрешетках. Оптические усилители: полупроводниковые и волоконные. Шумовые характеристики лазеров.	[1], с. 401 – 470; [2], с. 461 – 478.
6	<u>Модуляция оптического излучения.</u> Непосредственная модуляция полупроводникового лазера по цепи питания. Внешние модуляторы: электрооптические и акустооптические. Параметры и характеристики модуляторов. Осуществление разных видов модуляции. Дефлекторы.	[1], с. 471 – 492; [2], с. 236 – 241; [3], с. 184 – 206.
7	<u>Фотодиоды и фотоприемные устройства.</u> Характеристики фотодиодов (ФД). Основные типы ФД: рпн- и лавинные. Гетероструктурные ФД. Применение гетероструктурных транзисторов в качестве ФД. Фотоприемные устройства. Шумовые характеристики ФД.	[2], с. 496 – 525; [2], с. 480 – 503.
8	<u>Элементы интегральной оптики.</u> Интегрально-оптические пассивные и управляющие элементы. ИО устройства информатики.	[1], с. 562 – 565; [2], с. 433 – 456; [3], с. 105 – 118.
9	<u>Основы нелинейной оптики.</u> Нелинейная поляризация. Генерация высших гармоник. Па-	[1], с. 302 – 315; [2], с.

	раметрические взаимодействия. Самофокусировка. Многофотонные эффекты. Рассеяние Релея, комбинационное и вынужденное рассеяние. Оптические солитоны.	396 – 429; [3], с. 218 – 244.
10	<u>Оптическая голография.</u> Запись и считывание голограмм. Опорный и предметный пучки. Типы голограмм. Объемные голограммы. Пространственный период и ориентация объемной решетки. Условие Брэгга. Перспективы использования голографии.	[1], с. 565 – 570.

Рекомендуемая литература:

1. А.Н. Пихтин. Оптическая и квантовая электроника. – М: ВШ. 2001, 572с.
2. В.А. Малышев. Основы квантовой электроники и лазерной техники. - М.: Высшая школа, 2005. - 542 с.
3. В.М. Шандаров. Основы физической и квантовой оптики. – Томск: Томск. гос. Ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2005. – 258 с.
4. Г.Г. Куц, Ж.М. Соколова, Л.И. Шангина. Приборы и устройства оптического и СВЧ-диапазонов. - Томск: Издательство научно-технической литературы, 2003. - 556 с.
5. Смирнов А.Г. Квантовая электроника и оптоэлектроника. Мн. ВШ.;1987.- 196 с.
6. Ярив А. Введение в оптическую электронику: Пер. с англ.- М.: ВШ.;1983.- 398 с.

### **3.2. Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)**

№ темы	Тема	Литература
1	2	3
1	Достоинства ВОЛС перед другими направляющими системами. Классификация линий связи. Сравнительная оценка средств передачи информации с использованием электрических направляющих систем и ВОЛС. Принципы построения волоконно-оптических сетей.	[4], с. 14-23; [9], с. 8-15
2	<u>Оптические направляющие среды передачи (ОНСП).</u> Классификация оптических волноводов (ОВ). Планарный волновод. Основы теории ОНСП	[4], с. 26-49; [5], с. 9-32
3	<u>Основные характеристики распространения сигнала по ОВ.</u> Затухание сигналов в ОВ. Окна прозрачности и диапазон длин волн. Три вида поглощения. Затухание за счет макро- и микроизгибов	[1], с. 118-152; [4], 51-62
4	<u>Дисперсия и полоса пропускания ОВ.</u> Виды дисперсии. Межмодовая, материальная, и внутримодовая (волноводная) дисперсия. Пропускная способность ОВ	[9], с. 176-188, с. 196-204; [4], с. 63-81

5	<u>Оптические характеристики одномодовых ОВ.</u> Основные типы и области применения одномодовых ОВ. Затухание и хроматическая дисперсия одномодового ОВ. Нелинейные эффекты в ОВ. Методы компенсации дисперсии.	[9], с. 189-196, 226-235
6	<u>Конструкции и характеристики оптических кабелей связи.</u> Магистральные, зоновые, городские и объектовые кабели связи. Система обозначений и маркировки отечественных и зарубежных ОК. Область применения, конструкция, механические и электрические характеристики кабелей для: прокладки в землю; подвески на опорах; прокладки под водой и внутри помещений	[1], с. 182-243; [3], с. 21-63; [5], с. 70-97
7	<u>Коммутационно-распределительные устройства.</u> Устройства ввода излучения. Разъёмные и неразъёмные соединения.	[4], с. 123-132, 104-121
8	<u>Пассивные компоненты ВОЛС.</u> Распределение сигналов в ВОЛС Неселективные оптические разветвители Спектральные распределители оптического излучения Оптические аттенюаторы, изоляторы, циркуляторы	[1], с. 259-309; [4], с. 133-164

#### Рекомендуемая литература:

1. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 464 с.
2. Р. Фриман. Волоконно-оптические системы связи. 3-е дополненное издание. – М.: Техносфера, 2006. – 496 с.: ил.
3. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи: Конструкции и характеристики. – М.: Горячая линия-телеком, 2002. – 232 с.: ил.
4. Горлов Н.И., Микиденко А.В., Минина Е.А. Оптические линии связи и пассивные компоненты ВОСП. Учебное пособие. - Новосибирск: СибГУТИ, 2003. – 229 с.
5. Иоргачёв Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи. – М.: Эко-Трендз, 2002. – 282 с.
6. Воронцов А.С., Гурин О.И. и др. Оптические кабели связи российского производства. Справочник. - М.: Эко-Трендз, 2002. – 288 с.: ил.
7. Ксенофонтов С. Н., Портнов Э.Л. Направляющие системы электросвязи. Сборник задач: Учебное пособие для вузов.– М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 268 с.
8. Ефанов В.И. Сборник задач по курсу «Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи». – Томск: ТУСУР, 2007.– 47с.
9. Ефанов В.И. Электрические и волоконно-оптические линии связи: учеб. пособие. – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 256 с.

### **3.3. Оптические цифровые телекоммуникационные системы**

№ темы	Тема	Литература
1	<u>Особенности передачи сигналов электросвязи по оптическим линейным трактам, методы модуляции и демодуляции оптической несущей. Современные волоконно-оптические линии связи и предельные параметры ВОСП.</u>	[2], с. 264-280; [4], с. 296-344; [5], с. 7-43
2	<u>Обобщенная структурная схема оптических систем передачи. Понятие оптического линейного тракта. Структура информационного оборудования оконечной и промежуточной станций оптического линейного тракта. Одноволоконные и двухволоконные схемы организации двухсторонней связи. Полная структурная схема оконечной станции первичной ЦВОСП. Организация многоствольных линейных трактов с временным и спектральным разделением стволов.</u>	[1], с. 70-89; [2], с. 281-319
3	<u>Аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразования сигнала. Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). Нелинейное квантование сигнала по уровню. Адаптивные дифференциальные методы модуляции: АДИКМ, адаптивная дельта-модуляция (АДМ).</u>	[1], с. 40-69; [4], с. 4-70
4	<u>Иерархический принцип построения цифровых телекоммуникационных систем передачи. Плезиохронные цифровые иерархии (ПЦИ), их особенности. Синхронная цифровая иерархия (СЦИ), принципы формирования транспортных структур СЦИ, особенности топологии сети СЦИ</u>	[1], с. 118--133; [3]; [4], с. 110-112
5	<u>Структура цикла передачи первичной цифровой системы передачи. Сверхцикл передачи. Способы объединения цифровых потоков. Синхронное и асинхронное объединение потоков, понятие о временной неоднородности, одно и двухстороннее согласование скоростей передачи объединяемых потоков. Структура оборудования при двухстороннем согласовании скоростей. Система команд при двустороннем согласовании. Фазовые флуктуации при ВГ</u>	[1], с. 118-133; [2], с. 255-262; [3]; [4], с. 113-176
6	<u>Виды синхронизации в ЦВОСП. Тактовая синхронизация, работа выделителя тактовой частоты (ВТЧ), фазовые флуктуации выделенного синхросигнала, способы улучшения параметров ВТЧ. Цикловая и сверхцикловая синхронизация. Принцип скользящего поиска синхросигнала. Общий подход к описанию работы и оценки качества системы цикловой синхронизации. Структура адаптивного приемника синхросигнала</u>	[1], с. 90-117; [1], с. 209-260
7	<u>Линейные и стыковые коды. Требования к линейным кодам в ВОСП и критерии их выбора. Типы линейных кодов и их основные параметры. Линейные коды класса 1В2В. Коды NRZ, RZ, BI-L, BI-S. DBI, CMI, EP-1, EP-2, код Миллера, их алгоритмы образования, спектральные и временные характеристики. Цифровые суммы кодов и применения текущих цифровых сумм в алгоритмах контроля ошибок на линии.</u>	[1], с. 161-180; [5], с. 275-294

8	<u>Задача скремблирования и основные принципы построения скремблера.</u> Псевдослучайные последовательности чисел и их свойства. Прimitивные полиномы и генераторы псевдослучайных чисел на сдвиговых регистрах. Схемы скремблеров и дескремблеров.	[1], с. 191; [3]; [4]
9	<u>Основы расчета помехоустойчивости ВОСП.</u> Шумы фотодетекторов на pin-фотодиодах и лавинных фотодиодах. Шумы входных усилителей на биполярных и полевых транзисторах. Пороги чувствительности цифровых фотоприемных устройств. Расчет помехоустойчивости и чувствительности цифровой ВОСП при учете различных составляющих шумов фотоприемного устройства. Качество приема при дисперсионных искажениях сигнала в линиях связи. Использование оптимальных фильтров для минимизации межсимвольной интерференции. Отношение правдоподобия и оптимальные алгоритмы обработки сигналов в случае гауссовых шумов. Примеры расчета волоконно-оптических систем связи при заданной вероятности ошибки приема.	[1], с. 145-160, 390-402; [5], с. 231-330
10	<u>Принципы регенерации цифровых оптических сигналов.</u> Помехи и искажения в каналах и трактах ЦВОСП. Структура линейного регенератора ЦВОЛТ. Применение оптических усилителей на участках регенерации. Помехоустойчивость линейного регенератора ЦВОЛТ при двухуровневом линейном кодировании. Оценка помехоустойчивости регенератора с использованием глаз-диаграммы. Энергетический потенциал ЦВОСП. Расчет длины участка регенерации ЦВОЛТ	[1], с. 134-185, 390-402; [6], с. 186-214
11	<u>Аппаратура ЦВОСП</u> для местного, внутризонального и магистрального участков сети плездохронной иерархии. Функциональные модули аппаратуры ЦВОСП: мультиплексоры, регенераторы, коммутаторы и др. Основные узлы отечественной аппаратуры ВОСП на основе ИКМ. Аппаратура для городских телефонных сетей, их основные характеристики	[1]; [4], с. 151-169; [6]
12	<u>Транспортная система SDH и ее элементы.</u> Строение информационной сети. Основные информационные цифровые структуры SDH. Структура STM-N транспортных модулей. Секционные заголовки, их структура и назначение элементов. Принципы контроля ошибок передачи. Виртуальные контейнеры, ранги виртуальных контейнеров и их структура.	[1], с. 187-219; [6]
13	<u>Когерентное оптическое детектирование.</u> Гетеродинный и гомодинный прием. Системы с амплитудной, фазовой, частотной и поляризационной манипуляцией. Функциональная схема когерентной ВОСП. Перспективы когерентных волоконно-оптических систем передачи информации. Понятие о солитонных волоконно-оптических линиях.	[1], с. 70-89; [5]

Рекомендуемая литература:

1. В.Н. Гордиенко, М.С. Тверецкий Многоканальные телекоммуникационные системы. Учебник для вузов. – М.: Горячая линия, 2005, 416 с.
2. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов/ В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко и др. Ред. В.Н. Гордиенко, В.В. Крухмалева. – М.: Горячая линия, 2004, 510с.
3. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов/ В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др. Ред. В.И. Иванова. – М.: Горячая линия, 2005, 232 с.
4. В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А.Д. Моченов. Цифровые системы передачи: Учебное пособие для вузов/ Ред. А.Д. Моченов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007, 352 с
5. М.М. Бутусов, С.М. Верник, С.Л. Галкин, В.Н. Гомзин и др. Волоконно-оптические системы передачи: Учебник для вузов. М.: Радио и связь.-1992 г.
6. О.К. Скляр Волоконно-оптические сети и системы связи. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004, 272с

### 3.4. Метрология в оптических телекоммуникационных системах

№ темы	Тема	Литература
1	2	3
1	<u>Измерительные задачи, решаемые в процессе производства, строительства и эксплуатации оптических телекоммуникационных систем.</u> Виды измерений систем передачи: настроечные, приемо-сдаточные, эксплуатационные плановые и эксплуатационные внеплановые. Статистическая оценка характеристик погрешности измерений	[1], с. 18-25; [2], с. 9-11.
2	<u>Параметры, измеряемые в оптических телекоммуникационных системах.</u> Основные измеряемые параметры оптических многомодовых и одномодовых волокон, оптических излучателей и фотоприемных устройств, каналов и трактов оптических телекоммуникационных систем. Изменяемые параметры оптических усилителей	[1], с. 26-30; [2], с. 12-25; [3], с. 384-386
3	<u>Основные методы и средства измерений параметров аппаратуры систем передачи.</u> Методы измерения абсолютной оптической мощности, затухания оптических волокон. Принципы построения и основные технические и метрологические характеристики оптических ваттметров и оптических тестеров.	[1], с. 30-57, с.108-122; [2], с. 26-40.
4	<u>Основные методы и средства измерений параметров аппаратуры систем передачи.</u> Методы измерения числовой апертуры, диаметра модового пятна, межмодовой и хроматической дисперсии, длины волны отсечки в одномодовых волокнах.	[1], с. 59-72, с.94-103; [2], с. 41-51; [3], с. 393-402



5	<u>Основные методы и средства измерений параметров трактов цифровых телекоммуникационных систем.</u> Измерители коэффициентов ошибок. Особенности измерителей коэффициентов ошибок в системах оптического диапазона. Методы измерения фазового дрожания.	[1], с. 192 - 220; [2], с. 90-104.
6	<u>Рефлектометр как многофункциональное средство измерений</u> в оптических системах передач. Виды и методы измерений с помощью оптических рефлектометров. Технические и метрологические характеристики рефлектометров	[1], с. 18-25; [2], с. 105-114; [3], с. 385-393.
7	<u>Системы удаленного контроля оптических кабелей.</u> Организация измерений с закрытием и без закрытия связи. Основные направления автоматизации контроля волоконно-оптических линий связи	[2], с. 115 - 118.

### Рекомендуемая литература

1. Н.И.Горлов, Е.А.Минина Методы и аппаратура измерения параметров систем и устройств связи оптического диапазона. Учебное пособие. Новосибирск, 2005, 310с.
2. А.Е.Мандель Методы и средства измерения в волоконно-оптических системах связи. Учебное пособие, .Томск, ТУСУР, 2007, 120с.
3. М. М. Бутусов, С. М. Верник и др. Волоконно-оптические системы передачи. М. “Радио и связь”, 1992 г.

### **3.5. Сети связи и системы коммутации**

№ темы	Тема	Литература
1	2	3
1	<u>Основные принципы построения телекоммуникационных сетей.</u> Коммуникационные и информационные сети. Первичные и вторичные сети связи. Транспортные сети и сети доступа. Телеинформационные и телематические службы. Модель телеинформационных служб. Взаимоувязанная сеть связи РФ (ВСС). Системы распределения информации. Коммутация и селекция. Сети с маршрутизацией. Сети с селекцией данных. Сети управления электросвязью. Топология ИС	[1], с. 22-28
2	<u>Стандартизация в телеинформатике.</u> Открытые информационные системы. Эталонная модель взаимодействия открытых систем (ЭМВОС). Стандарты ЭМВОС. Протоколы Internet. Особенности стандартизации протоколов локальных сетей. Сетевые структуры глобальных сетей	[1], с. 28-80
3	<u>Основы теории телетрафика.</u> Параметры сообщений и показатели качества обслуживания. Математическая модель телетрафика. Системы с явными потерями. Системы с ожиданием.	[1], с. 80-145
4	<u>Российская телекоммуникационная сеть общего пользования</u>	[1], с.145-

	.Телефонная сеть общего пользования (ТФОП) Автоматические коммутируемые международная, междугородная и внутризоновые телефонные сети.	149
5	<u>Цифровая Сеть с Интеграцией Служб (ЦСИС)</u> . Основные показатели и Службы ISDN. Варианты доступа к сети ISDN. Сигнализация в ISDN (системы DSS1, ОКС7 (SS7)). Интеллектуальные сети (ИС). Услуги ИС. Будущее ИС.	[1], с.149-206
6	<u>Широкополосная цифровая сеть с интегрированными услугами Ш-ЦСИО (В-ISDN)</u> . Архитектура Ш-ЦСИО. Асинхронный режим передачи. Маршрутизация в сети АТМ. Сигнализации в Ш-ЦСИО на технологии АТМ. Категории и классы сервиса Ш-ЦСИО. Виды услуг, предоставляемые пользователям Ш-ЦСИО.	[1], с.206-235
7	<u>Сети с коммутацией меток</u> .. Синхронизация цифровых сетей. Современная концепция построения систем синхронизации. Структуры систем межузловой и внутриузловой синхронизации. Подсистемы QoS и TMN	[1], с.235-238
8	<u>Принципы коммутации в сетях связи</u> . Методы коммутации (коммутация временных каналов, быстрая коммутация каналов, коммутация пакетов, быстрая коммутация пакетов, ретрансляция кадров, ретрансляция ячеек). Цифровые кроссовые коммутаторы. Узел интегральной коммутации (баньяновская сеть, матричный коммутатор). Ретрансляционная система. Базовая сеть. Оптический коммутатор.	[2], с. 22-38 [2], с. 87-91
9	<u>Коммутация в ТФОП</u> . Ступени искания. Коммутационные приборы и их условные обозначения. Структуры коммутационного поля. Коммутационные поля АТСК, АТСКЭ, АТСЭ. Коммутационный модуль станции АХЕ-10. Перспективы развития коммутационных систем.	[2], с. 38-80
10	<u>Принципы сигнализации в ТФОП</u> . Способы передачи линейных сигналов и сигналов управления. Передача информационных сигналов. Международные системы сигнализации. Система сигнализации R2. Специфика российских систем сигнализации. Интерфейсы систем сигнализации. Протоколы систем линейной сигнализации. Сигнализация "импульсный челнок". Общий канал сигнализации (ОКС-7). Структура сигнальных единиц в блоке МТР. Подсистема ISUP. Режимы работы сети сигнализации ОКС №7.	[2], с. 91

### Рекомендуемая литература

1. Винокуров В.М. Сети связи и системы коммутации. Учебное пособие, раздел 1-Томск, ТМЦДО, 2005 - 238с.
2. Винокуров В.М. Сети связи и системы коммутации. Учебное пособие, раздел 2-Томск, ТМЦДО, 2005 - 136с.
3. Крук Б.И., Попантонопуло В.Н., Шувалов В.П. Телекоммуникационные системы и сети. Т.1,Новосибирск: Сиб.предприятие "Наука" РАН,1999.-536с.

#### **4. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ, ПОДГОТОВКЕ И ПРОВЕДЕНИЮ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЭКЗАМЕНА**

Государственный экзамен по специальности проводится в соответствии с ГОС и «Положением об итоговой государственной аттестации выпускников высших учебных заведений в Российской Федерации», утвержденном Минобразованием РФ (приказ №1155 от 25.03.2003). Порядок проведения и программа государственного экзамена определяются вузом на основании соответствующего ГОС, действующего учебного плана и рекомендаций, разработанных УМО по образованию в области телекоммуникаций от 2002 г..

Всю организационную работу по подготовке и проведению экзамена проводит профилирующая кафедра совместно с обеспечивающими кафедрами, привлекаемыми к его проведению.

УМО по образованию в области телекоммуникаций формулирует следующие общие **рекомендации** по организации и проведению государственного экзамена по специальности:

- - экзамен носит междисциплинарный характер и проводится с привлечением не менее трех дисциплин из специального и, при необходимости, общепрофессионального циклов дисциплин, устанавливаемых советом факультета, обеспечивающего подготовку по данной специальности;
- - программа экзамена и варианты заданий утверждаются деканом факультета, а состав экзаменационной комиссии и ее председатель - ректором вуза;
- - студенты допускаются к междисциплинарному экзамену только после успешной сдачи экзаменационной сессии;
- - до проведения экзамена в соответствии с расписанием, утвержденным ректором, и учебной нагрузкой соответствующих кафедр проводится специальная подготовка, включающая чтение установочных лекций, проведение практических занятий и консультаций;
- - экзамен проводится в письменном виде, причем каждый студент выполняет индивидуальное задание;
- - задание включает одну (комплексного характера) или несколько задач, требующих конкретных решений и представляющих собой небольшие инженерные задачи, решение которых позволяет оценить соответствие подготовки выпускников требованиям ГОС в области их умений и навыков, причем объем заданий должен быть рассчитан на время проведения экзамена в течение не более 4-х академических часов;
- - содержание заданий должно быть по возможности приближено к задачам, решаемым студентами в процессе выполнения курсовых проектов и работ, на практических занятиях и в рамках индивидуальной работы в процессе реализации соответствующего ГОС;
- - на экзамене студентам, наряду с конспектами лекций, разрешается пользоваться учебно-методической, научно-технической и справочной литературой, рекомендованной соответствующими кафедрами, и техническими средствами расчета и оформления выполнения задания;

- - результаты экзамена (с выставлением оценок “отлично”, “хорошо”, “удовлетворительно” и “неудовлетворительно”) проставляются в экзаменационную ведомость и в зачетную книжку за подписью председателя комиссии и ее членов. При принятии решения по экзаменационной оценке учитывается не только правильность полученных результатов, но и оформление работы (наличие кратких пояснений к расчетным формулам и принимаемым решениям, грамотное использование размерностей величин и степени округления результатов расчетов, анализ полученных результатов и т.п.), причем для получения положительной оценки должны быть правильно решены не менее 50% задач;
- - студенты имеют право на апелляцию, причем заявления на проведение апелляции на имя председателя комиссии подаются в день объявления результатов;
- - кафедрам, участвующим в проведении экзамена, целесообразно осуществить подготовку и издание соответствующих внутривузовских учебно-методических пособий и (или) указаний.
- - образцы решения экзаменационных заданий ( 5-10 экз. ) должны храниться в деканате не менее одного года для предоставления (в случае необходимости) органам, контролирующим или аттестующим данную специальность

В следующих подразделах даны методические рекомендации по подготовке студентов к Государственному экзамену по отдельным дисциплинам.

#### **4.1. Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства**

При подготовке к аттестационному экзамену следует, прежде всего, проработать материалы по тематике, представленной в разделе 3.1, пользуясь ссылками на рекомендуемую литературу.

Затем следует решить возможно больше задач, по типам, представленным в разделе 5.1 данного пособия. Решения задач на экзамене следует оформлять так, как это сделано в примерах, приведенных в разделе 6.1.

Неясные вопросы по теоретическому материалу и решениям задач сформулировать и вынести на предэкзаменационную консультацию.

Хорошее овладение материалом тем 1, 4 - 7 необходимо, поскольку он используется практически при решении всех задач по ОКПУ.

При решении задач крайне важным является детальное осмысление условия задачи и формулировка предлагаемой конкретной проблемы. На этом этапе большую помощь может оказать попытка графического представления условия задачи и последовательных ступеней ее решения.

При решении задач по данной дисциплине необходимо обратить особое внимание на следующее:

1. При выборе материалов твердых растворов замещения для оптических излучателей нужно иметь в виду, что при определенных составах полупроводник может из прямозонного превратиться в не прямозонный.
2. При выборе полупроводникового материала для фотоприемных элементов ВОСП необходимо учитывать, что разные материалы обладают разным квантовым выходом, что также должно приниматься во внимание.

3. При обосновании выбора материала для элементов управления оптическим излучением необходимо учитывать весь комплекс его характеристик, включая технические, эксплуатационные, стоимостные характеристики и возможности сопряжения элементов на его основе с волоконно – оптическими цепями.
4. При оформлении решений задач особое внимание нужно уделить пояснению всех шагов решения, чтобы продемонстрировать понимание сущности физических явлений, лежащих в основе функционирования опто-электронных элементов и приборов.

Необходимо обратить особое внимание на то, что:

1. для определения полупроводникового материала, пригодного для создания фоточувствительного или излучающего элемента, исходя из заданной длины волны света, используется соотношение, связывающее ширину запрещенной зоны с энергией фотона:

$$\lambda = hc / E_g$$

где  $h$  – постоянная Планка,  $c$  – скорость света,  $E_g$  – энергетическая ширина запрещенной зоны. В другой форме оно имеет вид:

$$\lambda_{(\text{мкм})} = \frac{1,24}{E_{g(\text{эВ})}}$$

В случае выбора материала для фотоприемника, находим его из условия

$E_{g(\text{эВ})} \leq \frac{1,24}{\lambda_{(\text{мкм})}}$ . Знак неравенства указывает, что ширина запрещенной зоны реального материала может быть существенно меньше ее величины, определенной из строгого равенства.

2. в случае выбора материала для изготовления излучателя (ППЛ или светодиода) это условие должно быть практически точным. Может оказаться, что ни одно из простых полупроводниковых соединений не отвечает этому условию точно. В этом случае необходимо определить состав твердого раствора (тройного или четверного) таких соединений. При этом ширина запрещенной зоны, найденная по заданной длине волны излучения, должна отвечать условию  $E_{gA} < E_g < E_{gB}$ , где  $E_{gA}$  и  $E_{gB}$  – соответствующие величины ширины запрещенной зоны для простых соединений - компонентов твердого раствора.

Для трехкомпонентного твердого раствора типа  $A_xB_{1-x}C$  при  $E_{gA} < E_{gB}$  коэффициент  $x$  может быть найден из соотношения:  $x = \frac{E_g - E_{gA}}{E_{gB} - E_{gA}}$ . Правда, необходимо помнить,

что изменение состава твердого раствора может привести к изменению зонной структуры (переходу от прямозонной структуры к непрямозонной). Так, для классической системы  $Al_xGa_{1-x}As$  материал остается прямозонным лишь при  $x < 0,37$ .

## **4.2 Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)**

При подготовке к аттестационному экзамену следует, прежде всего, проработать материалы по тематике, представленной в разделе 3.2, пользуясь ссылками на рекомендуемую литературу.

Затем следует решить возможно больше задач, по типам, представленным в разделе 5.2 данного пособия. Решения задач на экзамене следует оформлять так, как это сделано в примерах, приведенных в разделе 6.2.

Неясные вопросы по теоретическому материалу и решениям задач сформулировать и вынести на предэкзаменационную консультацию.

Решение задач, связанных с проектированием участка регенерации, может быть выполнено по методикам, изложенным в рекомендуемой литературе и/или конспекте лекций. При этом следует иметь в виду, что расчетные соотношения, взятые из различных литературных источников, могут отличаться друг от друга как по форме, так в некоторых случаях и по существу. Поэтому при решении конкретной задачи, необходимо делать в квадратных скобках ссылку на используемую литературу из приведенного списка.

Технические параметры аппаратуры, кабеля и других элементов, если они особо не заданы, следует брать из справочных данных, приведенных в приложении.

Решение некоторых задач требует четкого понимания специфики построения регенерационного участка в одноволоконных линейных трактах. В этом случае рекомендуется нарисовать его структуру. Это облегчит понимание подхода к решению задачи.

При выполнении конкретных расчетов необходимо учитывать, что уровень оптической мощности определяется относительно 1 мВт. Последнее очень важно при определении уровня по мощности и наоборот, когда часто допускается ошибка в размерности мощности. (Мощность  $P$ , выраженная через уровень  $p$  по известному соотношению  $P = 10^{0,1p}$  имеет размерность мВт!).

### **4.3 Оптические цифровые телекоммуникационные системы**

При подготовке к аттестационному экзамену следует, прежде всего, проработать материалы по тематике, представленной в разделе 3.3, пользуясь ссылками на рекомендуемую литературу.

Затем следует решить возможно больше задач, по типам, представленным в разделе 5.3 данного пособия. Решения задач на экзамене следует оформлять так, как это сделано в примерах, приведенных в разделе 6.3

Неясные вопросы по теоретическому материалу и решениям задач сформулировать и вынести на предэкзаменационную консультацию.

Хорошее овладение материалом тем 2, 9, 10 раздела 3.3 необходимо, поскольку он используется практически при решении всех задач по ОЦТС.

При расчете параметров ошибок в каналах и трактах следует, во-первых, производить расчеты в режиме с плавающей запятой, поскольку в расчетах присутствуют величины существенно меньше единицы, и, во-вторых, помнить, что количество секунд с ошибками или секунд, пораженных ошибками, выражается целым числом.

При решении задач, связанных с этой тематикой, следует особое внимание обратить на размерности величин, входящих в расчетные соотношения. Во избежание грубых ошибок рекомендуется все величины выражать в единицах международной системы единиц SI.

Грамотное решение задач по данной теме невозможно без понимания сущности следующих параметров волоконно-оптического усилителя: коэффициент уси-

ления, коэффициент шума, приведенный ко входу уровень шума.

Кроме того, следует ясно представлять, как строится регенерационная секция ВОСП-СР, по какому закону на ней происходит накопление шумов, как на основе внешней диаграммы уровней можно рассчитать оптическое отношение сигнал-шум и соответствующую ему помехозащищенность от каждого усилительного участка регенерационной секции и в целом.

При выполнении конкретных расчетов необходимо учитывать что уровень оптической мощности определяется относительно 1 мВт. Последнее очень важно при определении уровня по мощности и наоборот, когда часто допускается ошибка в размерности мощности. (Мощность  $P$ , выраженная через уровень  $p$  по известному соотношению  $P = 10^{0,1p}$  имеет размерность мВт!).

Необходимо обратить особое внимание на справочный материал представленный ниже.

Распространенная аппроксимация функции ошибок:

$$p_{ош} \cong 0.65 \exp[-0.443 \cdot (Q + 0.75)^2],$$

Для  $p$ - $i$ - $n$  диода  $F(M)=1$ . Для ЛФД:  $F(M) \approx M^x$ , где:

$$x = \begin{cases} 0.3, \text{ для } -Si, \\ 0.7, \text{ для } -InGaAs, \\ 1, \text{ для } -Ge. \end{cases}$$

$P_C$  - мощность оптического сигнала;  $h = 6.62 \cdot 10^{-34}$  Дж/Гц – постоянная Планка;

$G$  - суммарный коэффициент шума репитеров (ВОУ) регенерационного участка длиной  $L$ ,

$$G = 1 + 2n_{cn} \cdot \frac{L}{L_{сегм}} (\exp(\alpha L_{сегм}) - 1)$$

где  $L_{сегм}$  - расстояние между репитерами (ВОУ);  $\alpha$  - коэффициент затухания сигнала в ОВ;

$n_{cn}$  - коэффициент инверсии ВОУ, определяющий его шумовые свойства.

$$W(\alpha) = \frac{S_I}{e^2 B} + \frac{4kt}{R \cdot e^2 B} + \frac{S_E}{e^2 B} \left[ \frac{1}{R^2} + (2\pi C)^2 \frac{I_3(\alpha)}{I_2(\alpha)} B^2 \right]$$

безразмерный температурный параметр, определяющий уровень шумов входной цепи и усилителя ПРОМ;  $t$  – температура в градусах Кельвина;  $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана; где  $S_I, S_E$  - шумовые параметры транзисторов (см. ниже).

Для ПУ на полевых транзисторах (ПТ):

$$S_I \cong 2eI_3, \quad S_E \cong \frac{4kt^0 \Gamma}{g_m},$$

где  $I_3$  - ток утечки затвора ПТ;  $\Gamma$  – коэффициент шума ПТ;  $g_m$  – проводимость канала ПТ.

Для ПУ на биполярных транзисторах (БПТ):

$$S_I = 2eI_{BX} = \frac{2kt^0}{R_{BX}} \left[ \frac{A^2}{\Gamma \zeta} \right], \text{ где } R_{BX} - \text{входное сопротивление каскада ПУ.}$$

$$R_{BX} = \frac{kt^0}{eI_{BX}}, \text{ где } I_{BX} - \text{ток базы ПУ в рабочей точке.}$$

$$S_E = \frac{2kt^0}{\beta} \cdot R_{BX}, \left[ \frac{B^2}{\Gamma u} \right], \text{ где } \beta - \text{ коэффициент усиления по току БПТ.}$$

Типовые параметры полевых транзисторов на основе барьера Шотки (ПТШ)

Табл.

Параметр	<i>Si</i> – ПТШ	<i>GaAs</i> – ПТШ
<i>g</i> , мСм	5-10	15-50
<i>C<sub>СИ</sub></i> , пФ	3-6	0,2-0,5
<i>C<sub>ЗИ</sub></i> , пФ	0,5-1	0,01-0,05
<i>Г</i>	1,5-3,0	1,1-1,75
<i>I<sub>3</sub></i> , нА	0,01-0,1	10-100

Шумовые напряжения, обусловленные внутренними шумами ПУ на его выходе пропорциональны параметрам  $S_I$ ,  $S_E$  и шумовой полосе частот  $B_{эф}$ :

$$\left. \begin{aligned} \langle U_{шE}^2 \rangle &= S_I K^2 R^2 B I_2; \\ \langle U_{шI}^2 \rangle &= S_E K^2 (B I_2 + C^2 R^2 B^3 I_3), \end{aligned} \right\}$$

Параметры ТИУ:

- входное сопротивление  $R_{BX} \cong \frac{R_{OC}}{|K|};$

- выходное сопротивление  $R_{ВЫХ} \cong R_{OC};$

- полоса частот ТИУ ограничивается как инерционностью нагрузки, так и частотными характеристиками усилителя (транзистора). В первом случае, при  $K \gg 1 + R_{OC}/R$  частотная зависимость выходного напряжения ТИУ имеет вид:

$$U = - \frac{MR_{OC}I_C}{1 + j2\pi f \frac{CR_{OC}}{K}},$$

где  $K$  - коэффициент усиления каскада ТИУ при разомкнутой петле обратной связи,  $M$  – коэффициент лавинного умножения ЛФД;  $I_C$  – фототок фотодиода.. В данных условиях:

$$\Delta f \cong 0.16 \frac{|K|}{R_{OC} \cdot C}.$$

Вид АЧХ  $A_2(f)$  корректора  $A_1(f)$  подбирается таким образом, чтобы компенсировать спад АЧХ входной цепи  $A_1(f)$  в пределах полосы частот  $f_1 - f_2$ , и таким образом обеспечить требуемую полосу частот ПУ  $\Delta f$ . Указанная компенсация достигается при следующих соотношениях между параметрами элементов входной цепи и ПК:

$$\left. \begin{aligned} R_1 C_1 &= R'_2 C_2; \\ m a_1 &= 1, \end{aligned} \right\}$$

где  $m = f_2 / f_1$  - коэффициент расширения АЧХ;

$$a_1 = R_2 / R'_2 \ll 1; \quad f_1 = 1/(2\pi R_1 C_1);$$

#### 4.4 Метрология в оптических телекоммуникационных системах

При подготовке к аттестационному экзамену следует, прежде всего, прорабо-



тать материалы по тематике, представленной в разделе 3.4, пользуясь ссылками на рекомендуемую литературу.

Затем следует решить возможно больше задач, по типам, представленным в разделе 5.4 данного пособия. Решения задач на экзамене следует оформлять так, как это сделано в примерах, приведенных в разделе 6.4

При решении задач, связанных с рассматриваемой тематикой, необходимо знать методы измерений основных параметров оптических телекоммуникационных систем и их отдельных элементов, принципы действия основных СИ оптического диапазона, уметь выбирать необходимые СИ для решения конкретных измерительных задач.

Необходимо обратить внимание, что при подготовке ответа о методах измерений необходимо дать краткую характеристику измеряемого параметра. Неясные вопросы по материалу сформулировать и вынести на предэкзаменационную консультацию.

#### **4.5 Сети связи и системы коммутации**

При подготовке к аттестационному экзамену следует проработать материалы по тематике, представленной в разделе 3.5, пользуясь ссылками на рекомендуемую литературу.

Особое внимание следует обратить на решение задач по теории телетрафика. В этой связи следует решить возможно больше задач, содержащихся в разделах 3.5 (15 задач с решениями) и 3.5 "Учебного пособия" [1]. Кроме того, весьма полезно решить задачи, представленные в данном пособии.

Решения задач на экзамене следует оформлять так, как это сделано в примерах, приведенных в разделе 6.5 пособия. Числовые величины должны сопровождаться в ходе решения соответствующими размерностями. В некоторых, принципиальных для выяснения смысла и стратегии решения случаях, отсутствие размерности найденной величины может быть засчитано в качестве ошибки.

Неясные вопросы по теоретическому материалу и решениям задач сформулировать и вынести на предэкзаменационную консультацию.

При решении задач крайне важным является осмысление условия задачи и формулировка предлагаемой конкретной проблемы. На этом этапе большую помощь может оказать попытка графического представления условия задачи (рисунок, диаграмма, график и т.д.). При символьной записи условия задачи не следует вводить новых обозначений величин, а использовать общепринятые, перечисленные в главе 3 "Учебного пособия" [1].

На следующем этапе решения следует последовательно и тщательно обдумать ответы на следующие принципиальные вопросы:

- 1) Каково распределение входного потока требований?
- 2) В какой форме задан входной поток? Возможно ли в интересах упрощения решения использовать предельные переходы между видами распределений входного потока?
- 3) Сколько соединительных линий обслуживают входной поток?
- 4) Как определена система обслуживания – с потерями или с ожиданием?
- 5) Какую таблицу (составленную по распределению Эрланга или Энгсета) следует использовать?

## 5. ТИПОВЫЕ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ЗАДАЧИ

В данном разделе представлены типовые задачи, являющиеся составными частями комплексного расчетного задания и охватывающие вопросы всех дисциплин, Госэкзамена, раскрытых в 3-м разделе.

### 5.1. Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства

В связи с междисциплинарным характером Госэкзамена, экзаменационные вопросы по дисциплине «Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства» являются частью комплексного расчетного задания, охватывающего также материал курса «Оптические цифровые телекоммуникационные системы»

№	Содержание задачи
1	Одноволновая ВОСП предназначена для передачи сигнала STM-16 в формате NRZ – кода на длине волны $\lambda=1340$ нм. Выбрать материал рабочих областей лазерного диода, пригодного для использования в указанной выше системе, и представить схему его конструкции.
2	ВОСП предназначена для передачи информации на длине волны $\lambda=1.15$ мкм. Выбрать материал рабочих областей лазерного диода, пригодного для использования в указанной выше системе, и размеры его основных конструктивных элементов. Привести вариант схемы контроллера ЛД.
3	Одноволновая ВОСП, предназначена для передачи сигнала на длине волны $\lambda=1545$ нм на расстояние 75 км. Выбрать материал рабочих областей и предложить конструкцию фотодиода, пригодного для использования в указанной системе. Привести вариант схемы его включения во входную цепь фотоприемного усилителя.
4	Одноволновая ВОСП предназначена для передачи сигнала на длине волны $\lambda=1300$ нм на расстояние 25 км. Выбрать материал рабочих областей и предложить конструкцию фотодиода, пригодного для использования в указанной системе.
5	Аналоговая волоконно-оптическая система передачи предназначена для передачи оптического сигнала с длиной волны $\lambda=1.3$ мкм на расстояние $L=20$ км. Выбрать материал рабочих областей и предложить конструкцию оптического излучателя, пригодного для использования в указанной системе.
6	Аналоговая волоконно-оптическая система передачи информации работает на длине волны $\lambda=1.15$ мкм. Выбрать материал рабочих областей и предложить конструкцию фотодиода, пригодного для использования в указанной системе. Привести вариант схемы включения ФД во входную цепь предварительного усилителя.
7	Локальная сеть передачи данных построена на основе полимерного оптического многомодового волокна и предназначена для передачи сигнала на длине волны $\lambda=0.65$ мкм. на расстояние до 100 метров с битовой скоростью 100 мбит/с. Выбрать материал рабочих областей и конструкцию светодиода,

	формирующего световой сигнал в передающем оптическом модуле, пригодного для использования в указанной системе.
8	Локальная сеть передачи данных построена на основе полимерного оптического многомодового волокна и предназначена для передачи сигнала на длине волны $\lambda=0.65$ мкм. на расстояние до 100 метров с битовой скоростью 100 мбит/с. Выбрать материал рабочих областей и конструкцию фотодиода, пригодного для использования в указанной системе.
9	Аналоговая волоконно-оптическая система предназначена для передачи оптических сигналов с длиной волны $\lambda=1.15$ мкм на расстояние $L=10$ км. Выбрать материал рабочих областей и предложить конструкцию оптического излучателя, пригодного для использования в указанной системе.
10	Выбрать материал рабочих областей, оценить электрические параметры и характерные размеры основных конструктивных элементов лазерного диода, пригодного для использования в одноволновой ВОСП, предназначенной для передачи сигнала на длине волны $\lambda=1300$ нм.
11	Выбрать материал рабочих областей, оценить электрические параметры и характерные размеры основных конструктивных элементов лазерного диода, пригодного для использования в одноволновой ВОСП, предназначенной для передачи сигнала на длине волны $\lambda=1545$ нм.
12	Одноволновая ВОСП, предназначена для передачи сигнала на длине волны $\lambda=1540$ нм. Выбрать материал рабочих областей и оценить размеры основных конструктивных элементов лазерного диода, пригодного для использования в указанной выше системе. Привести вариант схемы контроллера.
13	Одноволновая ВОСП предназначена для передачи сигнала на длине волны $\lambda=1540$ нм. Выбрать материал и оценить размеры основных конструктивных элементов электрооптического фазового модулятора для работы в такой системе.
14	Одноволновая ВОСП предназначена для передачи сигналов на длине волны $\lambda=0,85$ мкм. Выбрать материал и оценить размеры основных конструктивных элементов фазового электрооптического модулятора, пригодного для использования в указанной выше системе.
15	Одноволновая ВОСП предназначена для передачи сигналов на длине волны $\lambda=1460$ нм. Выбрать материал рабочих областей и оценить размеры основных конструктивных элементов лазерного диода (ЛД), пригодного для использования в указанной выше системе. Привести вариант схемы контроллера.
16	Локальная сеть передачи данных построена на основе стеклянного оптического многомодового волокна, предназначенного для передачи сигналов на длине волны $\lambda=0.85$ мкм. Выбрать тип, материал рабочих областей и предложить конструкцию излучателя, пригодного для использования в указанной системе. Привести вариант схемы контроллера.
17	Локальная сеть передачи данных построена на основе стеклянного оптического многомодового волокна, предназначенного для передачи сигналов на длине волны $\lambda=0.85$ мкм. Выбрать материал рабочих областей и предложить конструкцию фотодиода, пригодного для использования в указанной системе.

## 5.2 Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)

№	Содержание задачи
1	<p>Определить величину энергетического потенциала и наибольшую длину участка регенерации магистральной ВОЛС, использующей ОВ типа G.652 на длине волны <math>\lambda = 1340</math> нм (<math>S_0 = 0.092</math> пс/нм<sup>2</sup>*км и <math>\lambda_0 = 1300</math> нм), при передаче потока <i>STM – 16</i>, линейный код передачи -NRZ. Источник излучения-LD со спектральной шириной <math>\Delta\lambda = 2</math> нм. При расчете учесть: энергетический запас; потери на соединениях ОВ (разъемных, неразъемных), макроизгибах (кабельные потери). В ВОЛС использованы пассивные компоненты: 1 ответвитель с коэффициентом деления 10:90%, коммутатор резервного канала. Составить расчетную таблицу</p>
2	<p>Выбрать и обосновать тип ОВ (в соответствии с рек. ITU-T), обеспечивающий максимальную скорость передачи для линии связи длиной 2 км, исходя из экономической эффективности (минимальных затрат). В расчете учесть потери при вводе излучения в ОВ</p>
3	<p>Определить максимальную длину участка регенерации магистральной линии связи, реализованной на основе ОВ марки Corning LEAF, использующей длину волны, <math>\lambda_2 = 1600</math> нм при скорости передачи <i>10 Гбит/с</i>. В качестве источника излучения используется одномодовый ЛД (DFB-лазер). Рассчитать необходимый энергетический потенциал с учетом строительных длин, потерь в коннекторах и неразъемных соединениях</p>
4	<p>Рассчитать наибольшую длину участка регенерации и величину энергетического потенциала магистральной ВОЛС, использующей ОВ G.652 на длине волны <math>\lambda = 1540</math> нм (<math>S_0 = 0.09</math> пс/нм<sup>2</sup>*км и <math>\lambda_0 = 1310</math> нм) при передаче потока <i>STM – 4</i>, линейный код передачи -NRZ. Источник излучения- LD со спектральной шириной <math>\Delta\lambda = 1</math> нм. При расчете учесть: энергетический запас; потери на соединениях ОВ (разъемных, неразъемных), макроизгибах (кабельные потери). В ВОЛС использованы пассивные компоненты: 2 ответвителя с коэффициентом деления 20:80%.Составить расчетную таблицу</p>
5	<p>Выбрать и обосновать тип ОВ (в соответствии с рек. ITU-T), обеспечивающий максимальную скорость передачи на дальности в 40 км. Энергетический бюджет линии- 28 дБ, должен обеспечивать запас на старение 6 дБ и потери в разъемных и неразъемных соединениях при использовании DFB-лазера</p>
6	<p>Длина участка ВОЛС с подвесным кабелем на ЛЭП составляет 520 км. Определить число регенерационных участков, минимальный энергетический бюджет одного участка, обеспечивающий скорость передачи <i>2,5 Гбит/с</i>. Тип ОВ G.652 на длине волны <math>\lambda = 1540</math> нм. (<math>S_0 = 0.09</math> пс/нм<sup>2</sup>*км и <math>\lambda_0 = 1310</math> нм), линейный код передачи -NRZ. Источник излучения- LD со спектральной шириной <math>\Delta\lambda = 0,1</math> нм. При расчете учесть: энергетический запас; потери на соединениях ОВ (разъемных, неразъемных), макроизгибах (кабельные потери). В ВОЛС использованы пассивные компоненты:1 ответвитель с коэффициентом деления 50:50%. Составить расчетную таблицу</p>

7	Магистральная линия связи, проектируемая на основе ОВ марки Corning LEAF, использует длину волны $\lambda_l = 1540\text{нм}$ и скорость передачи <b>STM-64</b> . В качестве источника излучения применяется одномодовый ЛД (DFB-лазер). Определить максимальную длину участка регенерации и рассчитать необходимый энергетический потенциал с учетом кабельных потерь, строительных длин, потерь в коннекторах и неразъемных соединениях,
8	Выбрать и обосновать тип ОВ (в соответствии с рек. ITU-T), обеспечивающий минимальный энергетический потенциал на трассе длиной 60 км с максимально возможной скоростью передачи. В расчете учесть: число неразъемных соединений – 24, число разъемных соединений – 4, энергетический запас принять равным 4,2 дБ. Источник излучения имеет $\Delta \lambda = 1\text{нм}$
9	Для строящейся зонной ВОЛС рассчитать максимальную протяженность участка регенерации по затуханию и дисперсии, для скорости передачи <b>STM-64</b> . Используется стандартное ОВ (SMF) на длине волны $\lambda = 1280$ нм при ширине спектра источника излучения ЛД (LD) $\Delta \lambda = 0,2$ нм. В линии связи использованы пассивные компоненты: 1 оптический переключатель и 2 ответвителя (20:80%). Учесть: потери на стыках строительных длин, в коннекторах, а также кабельные потери. Энергетический бюджет линии составляет $\mathcal{E} = 36\text{дБ}$ . Составить расчетную таблицу
10	Многомодовое ОВ используется в ЛВС (LAN) в горизонтальной проводке длиной 2000 м. Определить максимальную скорость передачи, реализуемую МОВ (рек. G.651) с показателем преломления сердцевины $n_1 = 1,47$ и числовой апертурой $NA = 0.2$ . Оценить минимальный необходимый энергетический потенциал линии, исходя из экономической эффективности ЛВС (рассмотреть возможность применения СИД или ЛД).
11	Рассчитать максимальную протяженность участка регенерации по затуханию и дисперсии зонной ВОЛС, при передаче потока <b>STM-16</b> . Используется стандартное ОВ (SMF) на длине волны $\lambda = 1340$ нм при ширине спектра источника излучения ЛД (LD) $\Delta \lambda = 1$ нм. В линии связи использованы пассивные компоненты: 1 оптический переключатель и 2 ответвителя (10:90%). Учесть: потери на стыках строительных длин, в коннекторах, а также кабельные потери. Энергетический бюджет линии составляет $\mathcal{E} = 36\text{дБ}$ . Составить расчетную таблицу
12	Рассчитать максимальную протяженность участка регенерации по затуханию и дисперсии зонной ВОЛС, при передаче потока $B = 2,5$ Гбит/с. Используется стандартное ОВ (SMF) на длине волны $\lambda = 1560$ нм при ширине спектра источника излучения ЛД (LD) $\Delta \lambda = 0,2$ нм. В линии связи использованы пассивные компоненты: 1 оптический переключатель и 1 ответвитель (50:50%). Учесть: потери на стыках строительных длин, в коннекторах, а также кабельные потери. Энергетический бюджет линии составляет $\mathcal{E} = 28\text{дБ}$ . Составить расчетную таблицу
13	Определить максимальную скорость передачи информации в ЛВС (LAN) на расстоянии $L = 2000$ метров, использующей МОВ (рек. G.651) с показателем преломления сердцевины $n_1 = 1,46$ и числовой апертурой $NA = 0.275$ . Оценить минимальный необходимый энергетический потенциал линии, исходя из экономической эффективности ЛВС (рассмотреть возможность применения СИД или ЛД).
14	Трасса ВОЛС длиной 480 км реализована на основе ОВ марки Metro Cor,

	использующей длину волны $\lambda = 1560$ нм при скорости передачи потока STM-64. В качестве источника излучения используется одномодовый ЛД (DFB-лазер). Рассчитать необходимый энергетический потенциал одного участка регенерации и их количество с учетом строительных длин, потерь в коннекторах и неразъемных соединениях, кабельных потерь
15	Определить минимальное число регенерационных участков, необходимых для перекрытия трассы Омск-Новосибирск (900 км), считая их равнопролетными. Скорость передачи 622 Мбит/с. Используется стандартное ОВ(SMF) на длине волны $\lambda = 1540$ нм при ширине спектра источника излучения ЛД (LD) $\Delta \lambda = 0,5$ нм. В линии связи использованы пассивные компоненты: 1 оптический переключатель и 1 ответвитель. Учесть: потери на стыках строительных длин, в коннекторах, а также кабельные потери. Энергетический бюджет линии составляет $\Sigma = 28$ дБ
16	Определить максимальную длину участка регенерации магистральной линии связи, реализованной на основе ОВ марки Metro Cor, использующей длину волны $\lambda = 1580$ нм при скорости передачи потока STM-64. В качестве источника излучения используется одномодовый ЛД (DFB-лазер). Рассчитать необходимый энергетический потенциал с учетом строительных длин, потерь в коннекторах и неразъемных соединениях, кабельных потерь
17	Общая протяженность трассы ВОЛС $L = 640$ км. Определить минимальное число участков регенерации для $B = 10$ Гбит/с и ОВ марки Corning LEAF, использующей длину волны $\lambda_1 = 1560$ нм в качестве источника излучения используется одномодовый ЛД (DFB-лазер). Рассчитать необходимый энергетический потенциал с учетом строительных длин, потерь в коннекторах и неразъемных соединениях, кабельных потерь
18	Для линии связи длиной $L = 800$ км, строящейся на основе ОВ марки Corning LEAF (скорость передачи- STM-64), использующей длину волны $\lambda_2 = 1620$ нм, определить минимальное число участков регенерации. В качестве источника излучения используется одномодовый ЛД (DFB-лазер). Рассчитать необходимый энергетический потенциал с учетом строительных длин, потерь в коннекторах и неразъемных соединениях, а также кабельных потерь.

### 5.3. Оптические цифровые телекоммуникационные системы

№	Содержание задачи
1	Предложить состав и схему размещения оборудования участка цифрового линейного тракта, построенного на основе аппаратуры одноволновой двухволоконной однокабельной ВОСП, предназначенной для передачи сигнала STM-16 в формате NRZ – кода на длине волны $\lambda = 1545$ нм, на расстояние 1000 км. Определить $P_{\min}$ ПРОМ, для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}} = 10^{-6}$ , считая, что используется Si – ПТШ и $p-i-n$ диод, работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью $\eta = 0,8$ , темновым током $i_{\text{тТ}} = 10$ нА и нагруженный на сопротивление $R = 1$ Мом, а волоконно-оптические усилители (репитеры) системы характеризуются коэффициентом инверсии населенностей, равным 1.5.

2	Предложить состав и схему размещения оборудования участка цифрового линейного тракта, построенного на основе аппаратуры одноволновой двух-волоконной однокабельной ВОСП, предназначенной для передачи сигнала STM-4 в формате NRZ – кода на длине волны $\lambda=1545$ нм, на расстояние 800 км. Определить $P_{\min}$ ПРОМ, для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}} = 10^{-7}$ , считая, что используется Si – ПТШ и <i>p-i-n</i> диод, работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью $\eta=0.9$ , темновым током $i_{\text{тТ}} = 15$ нА и нагруженный на сопротивление $R=1$ Мом , а волоконно-оптические усилители (репитеры) системы характеризуются коэффициентом инверсии населенностей, равным 1.5.
3	Предложить состав и схему размещения оборудования участка цифрового линейного тракта, построенного на основе аппаратуры одноволновой двух-волоконной однокабельной ВОСП, предназначенной для передачи сигнала STM-4 в формате NRZ – кода на длине волны $\lambda=1560$ нм, на расстояние 700 км. Определить $P_{\min}$ ПРОМ, для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}} = 10^{-8}$ , считая, что используется GaAs – ПТШ и <i>p-i-n</i> диод, работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью $\eta=0.85$ , темновым током $i_{\text{тТ}} = 15$ нА и нагруженный на сопротивление $R=1$ Мом , а волоконно-оптические усилители (репитеры) системы характеризуются коэффициентом инверсии населенностей, равным 2.
4	Предложить состав и схему размещения оборудования участка цифрового линейного тракта, построенного на основе аппаратуры одноволновой двух-волоконной однокабельной ВОСП, предназначенной для передачи сигнала STM-16 в формате NRZ – кода на длине волны $\lambda=1560$ нм, на расстояние 1200 км. Определить $P_{\min}$ ПРОМ, для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}} = 10^{-9}$ , считая, что используется GaAs – ПТШ и <i>p-i-n</i> диод, работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью $\eta=0.85$ , темновым током $i_{\text{тТ}} = 15$ нА и нагруженный на сопротивление $R=1$ Мом , а волоконно-оптические усилители (репитеры) системы характеризуются коэффициентом инверсии населенностей, равным 2.
5	Оценить чувствительность ПРОМ для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}} = 10^{-6}$ , считая, что основой ПУ является интегрирующий усилитель, в первом каскаде которого используется Si – ПТШ. Цифровой сигнал в форме NRZ – кода передается по ВОЛС со скоростью $V = 10^7$ бит/с методом модуляции на длине волны $\lambda=0.85$ мкм. После преобразований в линии этот импульс на входе ПРОМ приобретает гауссову форму с параметром $\alpha = 0,1$ , а сквозная АЧХ ПРОМ имеет вид “приподнятого косинуса”. Светочувствительным элементом ПРОМ является <i>p-i-n</i> диод, работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью $\eta=0.9$ , темновым током $i_{\text{тТ}} = 10$ нА и нагруженным на сопротивление $R=1$ Мом. Оценить номиналы элементов ПШК, полагая, что емкость ФД и входного каскада ПУ равна 10 пФ.
6	Оценить чувствительность ПРОМ для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}} = 10^{-7}$ , считая, что основой ПУ является интегрирующий усилитель, в первом каскаде которого используется Si – ПТШ. Цифровой сигнал в форме NRZ – кода передается по ВОЛС со скоростью $V = 10^6$ бит/с методом модуляции на длине волны $\lambda=0.85$ мкм. После преобразований в линии этот импульс на входе ПРОМ приобретает гауссову форму с параметром $\alpha = 0,1$ , а

	<p>сквозная АЧХ ПРОМ имеет вид “приподнятого косинуса”. Светочувствительным элементом ПРОМ является <math>p-i-n</math> диод, работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью <math>\eta=0.8</math>, темновым током <math>i_{\text{тТ}} = 15</math> нА и нагруженным на сопротивление <math>R=1</math> Мом. Оценить номиналы элементов ПШК, полагая, что емкость ФД и входного каскада ПУ равна 20 пФ.</p>
7	<p>Оценить чувствительность ПРОМ для коэффициента битовых ошибок <math>P_{\text{ош}} = 10^{-8}</math>, считая, что основой ПУ является интегрирующий усилитель, в первом каскаде которого используется <math>Si - \text{ПТШ}</math>. Цифровой сигнал в форме NRZ – кода передается по ВОЛС со скоростью <math>V = 10^7</math> бит/с методом модуляции на длине волны <math>\lambda=0.95</math> мкм. После преобразований в линии этот импульс на входе ПРОМ приобретает гауссову форму с параметром <math>\alpha = 0,1</math>, а сквозная АЧХ ПРОМ имеет вид “приподнятого косинуса”. Светочувствительным элементом ПРОМ является <math>p-i-n</math> диод, работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью <math>\eta=0.8</math>, темновым током <math>i_{\text{тТ}} = 10</math> нА и нагруженным на сопротивление <math>R=1</math> Мом. Оценить номиналы элементов ПШК, полагая, что емкость ФД и входного каскада ПУ равна 10 пФ.</p>
8	<p>Оценить чувствительность ПРОМ для коэффициента битовых ошибок <math>P_{\text{ош}} = 10^{-9}</math>, считая, что основой ПУ является интегрирующий усилитель, в первом каскаде которого используется <math>Si - \text{ПТШ}</math>. Цифровой сигнал в форме NRZ – кода передается по ВОЛС со скоростью <math>V = 10^8</math> бит/с методом модуляции на длине волны <math>\lambda=0.95</math> мкм. После преобразований в линии этот импульс на входе ПРОМ приобретает гауссову форму с параметром <math>\alpha = 0,1</math>, а сквозная АЧХ ПРОМ имеет вид “приподнятого косинуса”. Светочувствительным элементом ПРОМ является <math>p-i-n</math> диод, работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью <math>\eta=0.9</math>, темновым током <math>i_{\text{тТ}} = 15</math> нА и нагруженным на сопротивление <math>R=1</math> Мом. Оценить номиналы элементов ПШК, полагая, что емкость ФД и входного каскада ПУ равна 15 пФ.</p>
9	<p>Предложить состав и схему размещения оборудования участка цифрового линейного тракта, построенного на основе аппаратуры одноволновой двухволоконной однокабельной ВОСП, предназначенной для передачи сигнала STM-16 в формате NRZ – кода на длине волны <math>\lambda=1300</math> нм, на расстояние 1000 км. Определить <math>P_{\text{мин}}</math> ПРОМ, для коэффициента битовых ошибок <math>P_{\text{ош}} = 10^{-6}</math>, считая, что используется <math>Si - \text{ПТШ}</math> и <math>p-i-n</math> диод, работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью <math>\eta = 0,8</math>, темновым током <math>i_{\text{тТ}} = 10</math> нА и нагруженный на сопротивление <math>R=1</math> Мом, а волоконно-оптические усилители (репитеры) системы характеризуются коэффициентом инверсии населенностей, равным 1.5.</p>
10	<p>Предложить состав и схему размещения оборудования участка цифрового линейного тракта, построенного на основе аппаратуры одноволновой двухволоконной однокабельной ВОСП, предназначенной для передачи сигнала STM-4 в формате NRZ – кода на длине волны <math>\lambda=1340</math> нм, на расстояние 800 км. Определить <math>P_{\text{мин}}</math> ПРОМ, для коэффициента битовых ошибок <math>P_{\text{ош}} = 10^{-7}</math>, считая, что используется <math>Si - \text{ПТШ}</math> и лавинный фотодиод (ФД), работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью <math>\eta=0.85</math>, коэффициентом лавинного размножения <math>M=10</math>, темновым током <math>i_{\text{тТ}}=10</math> нА и нагруженный на сопротивление <math>R=50</math> кОм, а волоконно-оптические усилители (репитеры) системы характеризуются коэффициентом инверсии насе-</p>



	ленностей, равным 1.5.
11	Предложить состав и схему размещения оборудования участка цифрового линейного тракта, построенного на основе аппаратуры одноволновой двух-волоконной однокабельной ВОСП, предназначенной для передачи сигнала STM-4 в формате NRZ – кода на длине волны $\lambda=1300$ нм, на расстояние 700 км. Определить $P_{\min}$ ПРОМ, для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}}=10^{-8}$ , считая, что используется GaAs – ПТШ и лавинный фотодиод (ФД), работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью $\eta=0.85$ , коэффициентом лавинного размножения $M=20$ , темновым током $i_{\text{т}}=5$ нА и нагруженный на сопротивление $R=100$ кОм., а волоконно-оптические усилители (репитеры) системы характеризуются коэффициентом инверсии населенностей, равным 2.
12	Предложить состав и схему размещения оборудования участка цифрового линейного тракта, построенного на основе аппаратуры одноволновой двух-волоконной однокабельной ВОСП, предназначенной для передачи сигнала STM-16 в формате NRZ – кода на длине волны $\lambda=1340$ нм, на расстояние 1200 км. Определить $P_{\min}$ ПРОМ, для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}}=10^{-9}$ , считая, что используется GaAs – ПТШ и лавинный фотодиод (ФД), работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью $\eta=0.85$ , коэффициентом лавинного размножения $M=30$ , темновым током $i_{\text{т}}=3$ нА и нагруженный на сопротивление $R=10$ кОм., а волоконно-оптические усилители (репитеры) системы характеризуются коэффициентом инверсии населенностей, равным 2.
13	Оценить чувствительность ПРОМ для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}}=10^{-6}$ , считая, что основой ПУ является интегрирующий усилитель, в первом каскаде которого используется GaAs – ПТШ. Цифровой сигнал в форме NRZ – кода передается по ВОЛС со скоростью $V = 10^7$ бит/с методом модуляции на длине волны $\lambda=0.82$ мкм. После преобразований в линии этот импульс на входе ПРОМ приобретает гауссову форму с параметром $b = 0,1$ , а сквозная АЧХ ПРОМ имеет вид “приподнятого косинуса”. Светочувствительным элементом ПРОМ является лавинный фотодиод (ФД), работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью $\eta=0.85$ , коэффициентом лавинного размножения $M=30$ , темновым током $i_{\text{т}}=3$ нА и нагруженный на сопротивление $R=10$ кОм. Оценить номиналы элементов ПШК, полагая, что емкость ФД и входного каскада ПУ равна 10 пФ.
14	Оценить чувствительность ПРОМ для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}}=10^{-7}$ , считая, что основой ПУ является интегрирующий усилитель, в первом каскаде которого используется GaAs – ПТШ. Цифровой сигнал в форме NRZ – кода передается по ВОЛС со скоростью $V = 10^8$ бит/с методом модуляции на длине волны $\lambda=0.8$ мкм. После преобразований в линии этот импульс на входе ПРОМ приобретает гауссову форму с параметром $\alpha = 0,1$ , а сквозная АЧХ ПРОМ имеет вид “приподнятого косинуса”. Светочувствительным элементом ПРОМ является лавинный фотодиод (ФД), работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью $\eta=0.80$ , коэффициентом лавинного размножения $M=10$ , темновым током $i_{\text{т}}=3$ нА и нагруженный на сопротивление $R=10$ кОм. Оценить номиналы элементов ПШК, полагая, что емкость ФД и входного каскада ПУ равна 20 пФ.

15	Оценить чувствительность ПРОМ для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}} = 10^{-8}$ , считая, что основой ПУ является интегрирующий усилитель, в первом каскаде которого используется <i>GaAs</i> – ПТШ. Цифровой сигнал в форме NRZ – кода передается по ВОЛС со скоростью $V = 10^8$ бит/с методом модуляции на длине волны $\lambda = 0.8$ мкм. После преобразований в линии этот импульс на входе ПРОМ приобретает гауссову форму с параметром $\alpha = 0,1$ , а сквозная АЧХ ПРОМ имеет вид “приподнятого косинуса”. Светочувствительным элементом ПРОМ является лавинный фотодиод (ФД), работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью $\eta = 0.85$ , коэффициентом лавинного размножения $M = 30$ , темновым током $i_{\text{т}} = 3$ нА и нагруженный на сопротивление $R = 10$ кОм.
16	Оценить чувствительность ПРОМ для коэффициента битовых ошибок $P_{\text{ош}} = 10^{-6}$ , считая, что основой ПУ является интегрирующий усилитель, в первом каскаде которого используется <i>GaAs</i> – ПТШ. Цифровой сигнал в форме NRZ – кода передается по ВОЛС со скоростью $V = 10^7$ бит/с методом модуляции на длине волны $\lambda = 0.85$ мкм. После преобразований в линии этот импульс на входе ПРОМ приобретает гауссову форму с параметром $\alpha = 0,1$ , а сквозная АЧХ ПРОМ имеет вид “приподнятого косинуса”. Светочувствительным элементом ПРОМ является лавинный фотодиод (ФД), работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью $\eta = 0.75$ , коэффициентом лавинного размножения $M = 20$ , темновым током $i_{\text{т}} = 5$ нА и нагруженный на сопротивление $R = 50$ кОм.. Оценить номиналы элементов ПШК, полагая, что емкость ФД и входного каскада ПУ равна 15 пФ.

#### 5.4 Метрология в оптических телекоммуникационных системах

№	Содержание задачи
1	Опишите основные виды измерений на этапах строительства и эксплуатации волоконно-оптических линий связи.
2	Опишите основные измеряемые параметры и характеристики источников излучения, используемых в волоконно-оптических системах связи .
3	Опишите основные измеряемые параметры и характеристики приемников излучения, используемых в волоконно-оптических системах связи.
4	Опишите основные измеряемые параметры оптических многомодовых волокон.
5	Опишите основные измеряемые параметры оптических одномодовых волокон.
6	Опишите измерение затухания оптических волокон методом обламывания .
7	Опишите измерения затухания оптических волокон методом вносимых потерь.
8	Опишите методы измерения числовой апертуры многомодовых волокон
9	Опишите метод измерения межмодовой дисперсии оптических волокон по искажению импульса.
10	Опишите измерение хроматической дисперсии оптических волокон методом сдвига фаз.
11	Опишите измерение длины волны отсечки одномодовых оптических воло-

	кон методом передаваемой мощности.
12	Опишите метод измерения энергетического потенциала в линии связи с использованием измерителя коэффициента ошибок.
13	Опишите принцип действия и устройство рефлектометров.
14	Опишите основные технические характеристики рефлектометров.
15	Опишите схему измерения допустимого фазового дрожания в линии связи по критерию увеличения коэффициента ошибок.
16	Опишите организацию тестирования оптических волокон в линии связи с помощью систем удаленного контроля по пассивному волокну.
17	Опишите организацию тестирования оптических волокон в линии связи с помощью систем удаленного контроля по активному волокну.

### 5.5. Сети связи и системы коммутации

№	Содержание задачи
1 (10)	Пучок соединительных линий от центральной станции к УТС содержит четыре линии. Если средняя длительность разговора равна 3 мин, а интенсивность поступающей в ЧНН нагрузки равна 2 Эрл, определите долю времени, в течение которого используется четвертая линия (полагая, что используется упорядоченное искание). Дайте полную классификацию использованной сети связи (первичная, вторичная, коммуникационная, информационная, транспортная сеть, сеть доступа и т.д.).
2	Учрежденческая телефонная станция (УТС), в которую включены 200 абонентских устройств, связана с сетью общего пользования четырьмя соединительными линиями. Каждая абонентская установка в течение восьмичасового рабочего дня включается для приема трех внешних вызовов со средней длительностью занятия 2 мин каждый. Требуется определить вероятность того, что два вызова поступят в систему менее, чем за 2 с. Какой принцип распределения информации используется данной конфигурацией сети?
3	Средняя нагрузка в ЧНН, создаваемая межстанционным обменом двух коммутационных станций, равна 20 Эрл. Пусть непосредственная связь между этими станциями осуществляется по 24 каналам одной линии передачи Т1 со средним временем занятия одного канала, равным 2 мин. Какова избыточная нагрузка в ЧНН? Какова вероятность наличия очереди доступа к каналам при организации системы с ожиданием? Какие уровни ЭМВОС задействованы аппаратурой станций в межстанционном обмене? К какому типу топологии относится указанная конфигурация сети?
4	Район охватывает 400 телефонных абонентов. 1. Полагая, что средняя нагрузка от одного абонента равна 0,1 Эрл и что 20% вызовов являются местными (внутрирайонными) вызовами, а 80% вызовов — транзитными (к обслуживающей центральной станции), определите число каналов концентратора, требуемых в случае, когда коммутация местных вызовов осуществляется не локально, а на центральной станции. Местные вызовы концентрируются с помощью абонентских многоканальных систем передачи с вероятностью блокировки 0,1%.

	<p>2. Предполагая использование абонентами ресурсов сети INTERNET, перечислите несколько протокольных портов, часто используемых на практике.</p>
5	<p>Группа из восьми удаленных фермерских домов обслуживается четырьмя линиями связи.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Допуская, что каждая из восьми семей использует свои телефонные аппараты в течение 10% ЧНН, найдите величину вероятности блокировки в сети с концентрацией 8:4 (один концентратор с 8 входами и 4 выходами).</li> <li>2. Полагая, что частота поступления вызовов от абонентов равна 0,1 выз./мин., определить среднее время пауз в разговорах .</li> <li>3. В чем состоят причины использования многозвенных схем цифровых коммутаторов?</li> </ol>
6	<p>Длина поля, называемого "Этикетка маршрутизации (Routing Label)" сигнальной единицы MSU системы сигнализации ОКС-7 равна 32 бита, из них 14 бит отводятся на поле "Код пункта назначения (DPC)".</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможно ли организовать 17 тысяч пунктов сигнализации в одной сигнальной сети?</li> <li>2. Каковы наименования полей сигнальных единиц блоков МТР системы сигнализации ОКС-7, являющихся общими для всех типов сигнальных единиц?</li> </ol>
7	<p>Линия связи с пропускной способностью 50 кбит/с используется для передачи 10 сообщений, каждое из которых представляет собой пуассоновский поток с интенсивностью 150 пакетов в минуту. Длины пакетов имеют экспоненциальное распределение со средней величиной 1000 бит.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Для каждого сообщения найти среднюю задержку пакета в предположении, что линия содержит 10 каналов равной пропускной способности, уплотненных во времени.</li> <li>2. При каком методе коммутации задержка сообщений в сети минимальна?</li> </ol>
8	<p>Учрежденческая АТС ёмкостью 96 каналов обеспечивает среднее качество обслуживания с вероятностью блокировки вызовов <math>B=1\%</math>.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить среднее время обслуживания одного требования без учёта времени ожидания, если средняя длина очереди на обслуживание содержит 0,3 места ожидания при средней величине полного времени обслуживания 0,8 минут.</li> <li>2. Какое название носит оконечное станционное устройство каждой абонентской линии? Как называется абонентская линия, соединяющая абонента с АТС?</li> </ol>
9	<p>Группа из 10 источников посылает сообщения с экспоненциально распределёнными длинами по линии с пропускной способностью 1600 бит/с. Средняя длина сообщения равна 200 битам, включая заголовок, и каждый источник посылает одно сообщение каждые 40 с. Управление доступом к линии осуществляется путем концентрации на основе коммутации сообщений с неограниченной очередью.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Полагая, что количество сообщений, одновременно находящихся в системе, равно 3, определите вероятность наличия очереди ожида-</li> </ol>

	<p>ния и вероятность блокировки в случае отключения механизма очереди ожидания.</p> <p>2. Можно ли назвать данную сеть ретрансляционной? А базовой?</p>
10	<p>Телефонная станция гарантирует вероятность блокировки 0,1% для 100 каналов высокого качества.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определить вероятность возникновения очереди на обслуживание.</li> <li>2. Каковы требования к величине сопротивления гальванического контакта в точке коммутации цифрового коммутационного поля? На основе какой технологии это становится достижимым?</li> </ol>
11	<p>Какой должна быть ёмкость учрежденческой телефонной станции (УТС) для обслуживания 300 пользователей при ограничении вероятности блокировки до 1% в предположении, что каждый пользователь создает в среднем сорок вызовов в день со средней длительностью сеанса 6 мин.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Если десять пользователей остаются соединенными с центром целый день, то каково качество обслуживания остальных 290 пользователей? Какова при этом вероятность вхождения в очередь?</li> <li>2. Возможно ли применить в качестве УТС станцию ISDN? В случае положительного ответа какой протокол межстанционной сигнализации Вы бы применили?</li> </ol>
12	<p>Группа из 100 источников посылает сообщения с экспоненциально распределенными длинами по линии с пропускной способностью 1200 бит/с. Средняя длина сообщения равна 200 битам, включая заголовок, и каждый источник посылает одно сообщение каждые 20 с. Управление доступом к линии осуществляется путем концентрации на основе коммутации сообщений с неограниченной очередью.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определите следующие показатели: 1) вероятность вхождения в очередь; 2) среднее время ожидания в очереди для всех поступающих вызовов.</li> <li>2. Можно ли организовать указанную услугу в рамках сети В-ISDN? Если это возможно, какой класс сервиса может быть осуществлён?</li> </ol>
13	<p>Линия связи с пропускной способностью 50 кбит/с используется для передачи 10 сообщений, каждое из которых представляет собой пуассоновский поток с интенсивностью 250 пакетов в минуту в 5 сообщениях и 50 пакетов в минуту в оставшихся 5 сообщениях. Длины пакетов распределены так, что 10% пакетов имеют длину 100 бит, а остальные 1500 бит.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Для каждого сообщения найти среднюю задержку пакета в предположении, что линия содержит 10 каналов равной пропускной способности, уплотненных во времени.</li> <li>2. Можно ли в качестве указанной линии связи применить LAN? Какого типа?</li> </ol>
14	<p>Коммутатор сообщений с неограниченной очередью концентрирует нагрузку, создаваемую группой источников и посылает сообщения с экспоненциально распределенными длинами по линии. Средняя длина сообщения равна 200 битам, включая заголовок, и каждый источник посылает одно сообщение каждые 20 с. Управление доступом к линии осуществляется путем концентрации на основе коммутации сообщений с неограниченной очередью. Вероятность наличия очереди равна 0,8. Вероятность</p>

	<p>пребывания в очереди более 2,3 секунд составляет 0,08.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Определите число источников в группе.</li> <li>2. В чём Вы видите принципиальное отличие коммутатора сообщений от коммутатора меток?</li> </ol>
15	<p>Линия связи с пропускной способностью 50 кбит/с используется для передачи 10 сообщений, каждое из которых представляет собой пуассоновский поток с интенсивностью 250 пакетов в минуту в 5 сообщениях и 50 пакетов в минуту в оставшихся 5 сообщениях. Длины пакетов имеют экспоненциальное распределение со средней величиной 1000 бит.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Для каждого сообщения найти среднюю задержку пакета в предположении, что линия содержит 10 каналов равной пропускной способности, уплотненных во времени.</li> <li>2. Перечислите методы синхронизации цифровых сетей. Какие методы применимы в рамках предлагаемой задачи?</li> </ol>
16	<p>Измерения нагрузки на пучке соединительных линий от УТС к центральной станции показывают, что в течение часа, когда отмечается самая большая в течение дня нагрузка, линии используются на 80%.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какова вероятность блокировки, если пучок содержит 8 соединительных линий и предполагается, что блокированные вызовы возвращаются в форме случайных повторных вызовов?</li> <li>2. Перечислите международные системы сигнализации и отметьте те из них, которые применимы к фрагменту сети, описанному в задании.</li> </ol>

## 6. ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ ЗАДАЧ

В данном разделе представлены решения и примеры оформления ответов на типовые экзаменационные задачи, сформулированные в 5-ом разделе для всех дисциплин Госэкзамена.

### 6.1. Оптоэлектронные и квантовые приборы и устройства

#### Задача 1 (к разделу 3.1)

Одноволновая ВОСП, предназначена для передачи сигнала на длине волны  $\lambda=1540$  нм. Выбрать материал рабочих областей и оценить размеры основных конструктивных элементов лазерного диода, пригодного для использования в указанной выше системе.

#### *Решение*

Для изготовления лазерных диодов используют прямозонные полупроводники. Нам необходимо передать излучение в линию на длине волны  $\lambda=1540$  нм. Найдём ширину запрещённой зоны полупроводникового материала из условия:

$$\lambda = \frac{1,34}{(E_g + k \cdot T)} \rightarrow E_g = \frac{1,34}{\lambda} - k \cdot T \approx 1,9 \text{ В}$$

Т.к. необходимо использовать прямозонный п/проводник, то из справочной таблицы выбираем материалы InAs и InP с незначительным отличием постоянной решетки. Получим тройной твёрдый раствор замещения (ТРЗ).

Рассчитаем процентное соотношение выбранных соединений в ТРЗ, для этого воспользуемся законом Вегарда, который связывает ширину запрещенной зоны  $E_g$  ТРЗ с концентрациями его компонентов  $\alpha_A$  и  $\alpha_B$ :

$$E_g = E_{gB} + (E_{gA} - E_{gB}) \cdot \alpha_A$$

Из таблицы находим:

InP –  $E_{gA}=1,35$  эВ;  $a=0,58$  нм;

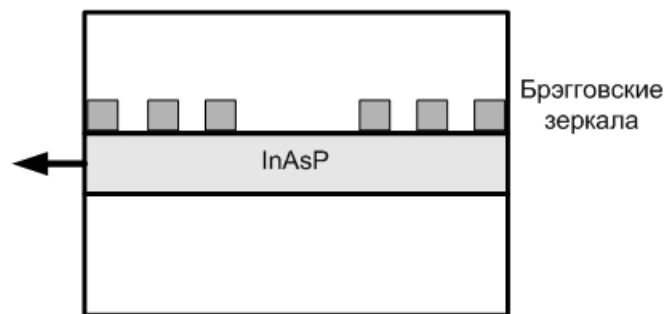
InAs –  $E_{gB}=0,36$  эВ;  $a=0,6$  нм.

Из закона Вегарда находим концентрацию  $\alpha_A$  (InP):

$$\alpha_A = \frac{E_g - E_{gB}}{E_{gA} - E_{gB}} = \frac{1 - 0,36}{1,35 - 0,36} = \frac{0,64}{0,99} = 0,65 = 65\%$$

Таким образом, ТРЗ должен состоять из 65% InP и 35% InAs :  $\text{InAs}_{0,35}\text{P}_{0,65}$ .

Конструкция ЛД представлена на рисунке:



### Задача 2 (к разделу 3.1)

Одноволновая ВОСП предназначена для передачи сигнала на длине волны  $\lambda=1300$  нм на расстояние 25 км. Выбрать материал рабочих областей и предложить конструкцию фотодиода, пригодного для использования в указанной системе.

### Решение

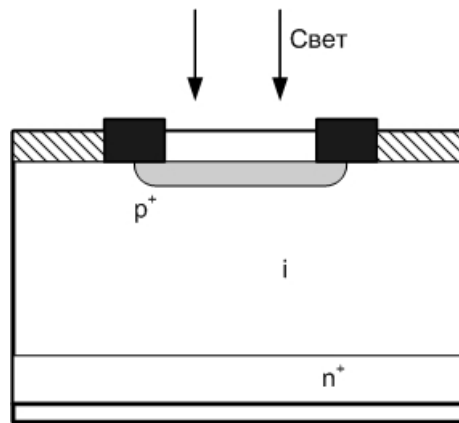
Так как длина волны  $\lambda = 1300$  нм, то энергия фотона для излучения такого лазерного диода будет равна:

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1300 \cdot 10^{-9}} = 1,52769 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$$

Переведём полученную энергию в эВ:

$$E(\text{эВ}) = \frac{E(\text{Дж})}{e} = \frac{1,52769 \cdot 10^{-19}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 0,95 \text{ эВ.}$$

Таким образом, нам нужен материал, который будет иметь ширину запрещённой зоны меньше 0,95 эВ. В этом случае возможны поглощение фотонов и генерация фотоэлектронов. Обращаясь к таблице видим, что таким материалом может быть, например, германий, ширина запрещенной зоны которого равна 0,785 эВ. Вторым возможным материалом – GaSb с шириной запрещенной зоны 0,81 эВ. Сравнивая квантовый выход этих материалов на заданной длине волны, видим, что для германия он несколько выше. Поэтому в качестве материала выбираем германий. Схема конструкции рin- фотодиода представлена на рисунке.



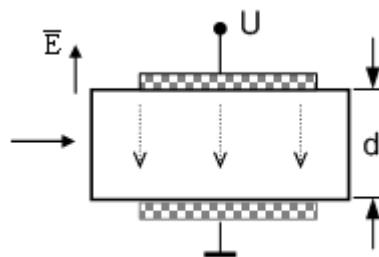
### Задача 3 (к разделу 3.1)

Одноволновая ВОСП предназначена для передачи сигналов на длине волны  $\lambda=0,85$  мкм. Выбрать материал и оценить размеры основных конструктивных элементов фазового электрооптического модулятора, пригодного для использования в указанной выше системе.

#### Решение

Поскольку в задаче указана только длина волны света, первый шаг в ее решении связан с определением пригодного кристаллического материала, обладающего высокими электрооптическими коэффициентами, прозрачного в заданном диапазоне длин волн и обладающего хорошими эксплуатационными характеристиками. Сравнивая характеристики разных электрооптических кристаллов, приведенные в справочном материале, делаем вывод, что пригодными материалами являются монокристаллы ниобата лития и стронций – бариевого ниобата. Исходя из эксплуатационных характеристик и критерия стоимости, выбираем ниобат лития ( $\text{LiNbO}_3$ ). Его дополнительным достоинством является возможность выполнения электрооптического модулятора в виде интегрально-оптического элемента.

В качестве схемного решения выбираем структуру фазового электрооптического модулятора с поперечным электрическим полем. Его схема представлена на рисунке.



Здесь электрическое напряжение  $U$  приложено вдоль оптической оси кристалла, а свет распространяется вдоль осей  $X$  или  $Y$ . Световая волна имеет линейную поляризацию, плоскость поляризации совпадает с плоскостью, в которой лежат оптическая ось кристалла и волновой вектор световой волны. Фазовый сдвиг, приобретаемый световой волной вследствие электрооптического эффекта, определяется соотношением:



$$\Delta\Phi_e = k_0 \cdot \Delta n \cdot z = -\frac{\pi}{\lambda} n_e^3 r_{33} E_0 \cdot z = -\frac{\pi}{\lambda} n_e^3 r_{33} \frac{U}{d} \cdot L$$

где  $(k_0 = 2\pi/\lambda)$  – волновое число света в вакууме;  $\lambda$  – длина волны света в вакууме;  $E_0 = (U/d)$ ;  $U$  – величина напряжения, приложенного к кристаллу;  $d$  – размер кристалла в направлении внешнего электрического поля;  $L$  – длина электродов в направлении распространения света.

Детальный расчет параметров модулятора может быть проведен при заданных конкретных требованиях к характеристикам фазовой модуляции оптического излучения.

## 6.2. Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи (ВОЛС)

### Задача 1 (к разделу 3.2)

Многомодовое ОВ используется в ЛВС (LAN) в горизонтальной проводке длиной 2000 м. Определить максимальную скорость передачи, реализуемую МОВ (рек. G.651) с показателем преломления сердцевины  $n_1=1,47$  и числовой апертурой  $NA=0,2$ . Оценить минимальный необходимый энергетический потенциал линии, исходя из экономической эффективности ЛВС (рассмотреть возможность применения СИД или ЛД).

#### Решение

Дано: ЛВС (LAN); рек. G.651;  $L=2000\text{м}$ ;  $n_1=1,47$ ;  $NA=0,2$

Найти:  $B=?$ ;  $\Theta=?$ .

1. Выразим скорость  $B$  через  $L$ :

$$L = \frac{\Delta F}{0,44 \cdot B} \rightarrow B = \frac{\Delta F}{0,44 \cdot L}$$

необходимо найти  $\Delta F$ :  $\Delta F = \frac{0,44}{\tau}$

профиль показателя преломления может быть как градиентным, так и ступенчатым, т.о.

$$\tau_{sp} = \frac{n_1 \cdot \Delta^2}{c} \cdot L_1 \qquad \tau_{cm} = \frac{n_1 \cdot \Delta}{c} \cdot L_1$$

найдем  $\Delta$ :

$$\Delta = \frac{NA^2}{2 \cdot n_1^2}$$

$$\Delta = \frac{(0,2)^2}{2 \cdot (1,47)^2} = \frac{0,04}{4,3218} = 0,00925$$

откуда

$$\tau_{cp} = \frac{1,47 \cdot (0,00925)^2}{3 \cdot 10^8} \cdot 1 = 4,192 \cdot 10^{-13} \text{ c} = 0,41 \text{ пс}$$

$$\tau_{cm} = \frac{1,47 \cdot 0,00925}{3 \cdot 10^8} \cdot 1 = 4,53 \cdot 10^{-11} \text{ c} = 45,3 \text{ пс}$$

$$\Delta F_{cp} = \frac{0,44}{\tau_{cp}} = \frac{0,44}{4,192 \cdot 10^{-13}} = 1,049 \text{ ТГц}$$

$$\Delta F_{cm} = \frac{0,44}{\tau_{cm}} = \frac{0,44}{4,53 \cdot 10^{-11}} = 9,71 \text{ ГГц}$$

Найдём скорость передачи:

$$B_{cp} = \frac{1,049 \cdot 10^{12}}{0,44 \cdot 2} = 1,192 \text{ Тбит/с}$$

$$B_{cm} = \frac{9,71 \cdot 10^9}{0,44 \cdot 2} = 11,03 \text{ Гбит/с}$$

Видим, что, произведя расчёт мы получаем величины несоизмеримые с реальными скоростями, которые составляют порядка (100 - 1000) Мбит/с.

2. Оценим энергетический потенциал линии:

$$\mathcal{E} = P_{пер} - P_{пр};$$

Примем  $P_{пер} = 0$  дБм, т.к. будем использовать ЛД с  $P_{пер} = 1$  мВт, в виду того, что при таких скоростях его использовать целесообразнее.

$$P_{пр} = -40 \text{ дБм}$$

$$\mathcal{E} = 0 - (-40) = 40 \text{ дБ}$$

## Задача 2 ((к разделу 3.2)

Магистральная линия связи, проектируемая на основе ОВ марки Corning LEAF, использует длину волны  $\lambda = 1540 \text{ нм}$  и скорость передачи  $STM - 64$ . В качестве источника излучения применяется одномодовый ЛД (DFB - лазер). Определить максимальную длину участка регенерации и рассчитать необходимый энергетический потенциал с учетом кабельных потерь, строительных длин, потерь в коннекторах и неразъемных соединениях.

### Решение

При рабочей длине волны  $\lambda = 1540 \text{ нм}$ . мы рассматриваем  $D(\lambda)$  по стандартам предложенным производителем компании Corning LEAF. Т.е. применим формулу:

$$D(\lambda) = \left[ \frac{D(1565) - D(1530)}{35} \cdot (\lambda - 1565) \right] + D(1565)$$

Полная дисперсия; от 2 до 6  $\frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}}$  в диапазоне волн (1530-1565 нм.)

$$D(\lambda) = \left[ \frac{6 - 2}{35} \cdot (1540 - 1565) \right] + 6 = 3,143 \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}}$$

Найдём длину регенерационного участка по скорости  $B$  и  $D(\lambda)$ , где  $\Delta\lambda = 1 \text{ нм}$ .

$$L_B = \frac{1}{2D(\lambda) \cdot B \cdot \Delta\lambda} = \frac{1}{2 \cdot 3,143 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{10}} = 15,9 \text{ км}$$

Найдём энергетический бюджет с учетом всех потерь;

$$\alpha_{рс} = 0,5 \text{ дБ} \quad \alpha_{нс} = 0,02 \text{ дБ} \quad \alpha_{кп} = 1,1 \cdot \alpha_{ос} \text{ дБ}$$

$$\alpha_{ог} = 0,22 \text{ дБ/км} \quad \alpha_{кп} = 1,1 \cdot 0,22 = 0,242 \text{ дБ}$$

Количество неразъемных соединений;

$$N_{нс} = \frac{L}{L_{ст}} + 1$$

Строительная длина равна 4,4 км.

$$N_{нс} = \frac{15,9}{4,4} + 1 \approx 5 \text{ шт.}$$

Энергетический бюджет;

$$\mathcal{E} = L \left[ \alpha_{кп} + \frac{\alpha_{нс}}{L_{ст}} \right] + \text{Запас} + \alpha_{нс} \cdot N_{нс} + \alpha_{рс} \cdot N_{рс}$$

Запас примем с учетом старения, изменение T, итд. равным 4 дБ.

$$\mathcal{E} = 15,9 \cdot \left[ 0,242 + \frac{0,02}{4,4} \right] + 4 + 0,02 \cdot 5 + 0,5 \cdot 2 = 8,02 \text{ дБ.}$$

*Ответ:*  $\mathcal{E}=8,02$  дБ,  $L_{рег} = 15,9$  км.

*Выводы:* В соответствии с полученными значениями  $\mathcal{E}$  и  $V$  малы. Нам надо расходовать весь энергетический бюджет  $\mathcal{E}=28$  дБ. В нашей задаче мы можем увеличить длину регенерационного участка до 100 км и рассчитать уже скорость  $V$ .

### 6.3. Оптические цифровые телекоммуникационные системы

#### Задача 1 (к разделу 3.3)

Предложить состав и схему размещения оборудования участка цифрового линейного тракта, построенного на основе аппаратуры одноволновой двухволоконной однокабельной ВОСП, предназначенной для передачи сигнала STM – 4 в формате NRZ – кода на длине волны  $\lambda=1340$  нм, на расстоянии 800 км. Определить  $P_{\min}$  ПРОМ, для коэффициента битовых ошибок  $p_{ош}=10^{-7}$ , считая, что используется Si – ПТШ и лавинный фотодиод (ФД), работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью  $\eta=0,85$ , коэффициентом лавинного размножения  $M=10$ , темновым током  $i_{тт}=10$  нА и нагруженный на сопротивление  $R=50$  кОм, а волоконно-оптические усилители (репитеры) системы характеризуются коэффициентом инверсии населённости, равным 1,5.

#### Решение

**Дано:**  $\lambda=1340$  нм;  $V=622$  Мбит/с;  $L=800$  км;  $p_{ош}=10^{-7}$ ; Si-ПТШ ( $g=10$  мСм,  $I_3=0,1$  нА,  $\Gamma=3$ );  $\eta=0,85$ ;  $M=10$ ;  $i_{тт}=10$  нА;  $R=50$  кОм.

**Найти:**  $P_{\min}=?$

Найдём поправочные коэффициенты Персонака  $I_2$  и  $I_3$ ;  $\alpha=0,1$  световой импульс на входе ПРОМ не растянут, т.к.  $\gamma=0$ .

$$I_2(\alpha) = \frac{2}{\pi} \cdot \int_0^{\pi/2} e^{16 \cdot \alpha^2 \cdot x^2} \cdot \cos(x)^4 dx$$

$$I_2(\alpha) = 0,404$$

$$I_3(\alpha) = \left(\frac{2}{\pi}\right)^3 \cdot \int_0^{\pi/2} e^{16 \cdot \alpha^2 \cdot x^2} \cdot x^2 \cdot \cos(x)^4 dx$$

$$I_3(\alpha) = 0,036$$

Найдём эквивалентные числа фотоэлектронов  $n_{tt}$  и  $n_t$  на ТИ:

$$n_{tt} = \frac{i_{tt} \cdot T}{e} = \frac{i_{tt} \cdot \frac{1}{B}}{e} = \frac{10 \cdot 10^{-9} \cdot \frac{1}{622 \cdot 10^6}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 100,482$$

$$n_t = \frac{2 \cdot k \cdot t}{e^2 \cdot R \cdot B} = \frac{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 50 \cdot 10^3 \cdot 622 \cdot 10^6} = 1,016 \cdot 10^4$$

Для отыскания числа шумовых фотоэлектронов  $n_E$  и  $n_I$  на ТИ, связанных с Si-ПТШ, воспользуемся табл. данными, получим

$$n_I = \frac{I_3 \cdot T}{e} = 1,005 \cdot 10^3$$

$$n_E = \frac{2 \cdot k \cdot t \cdot \Gamma \cdot T}{e^2 \cdot R^2 \cdot g} = 7,11$$

Для заданного уровня  $p_{ош}$   $Q$  – фактор равен:

$$p_{ош} = 10^{0,434 \cdot [-0,443 \cdot (Q+0,75)^2 - 0,43]},$$

тогда  $Q = 6,021$ .

Поскольку  $\gamma = 0$ , то число сигнальных фотоэлектронов  $n_c$ :

$$n_c = 2 \cdot I_2 \cdot Q^2 + 2 \cdot \sqrt{2 \cdot I_2} \cdot Q \cdot \sqrt{n_{tt} + n_t + n_E + n_I \cdot \left(1 + C^2 \cdot R^2 \cdot B^2 \cdot \frac{I_3}{I_2}\right)},$$

где  $C = \frac{1}{B \cdot R}$ .

Подставляя в эту формулу все полученные значения, получим:

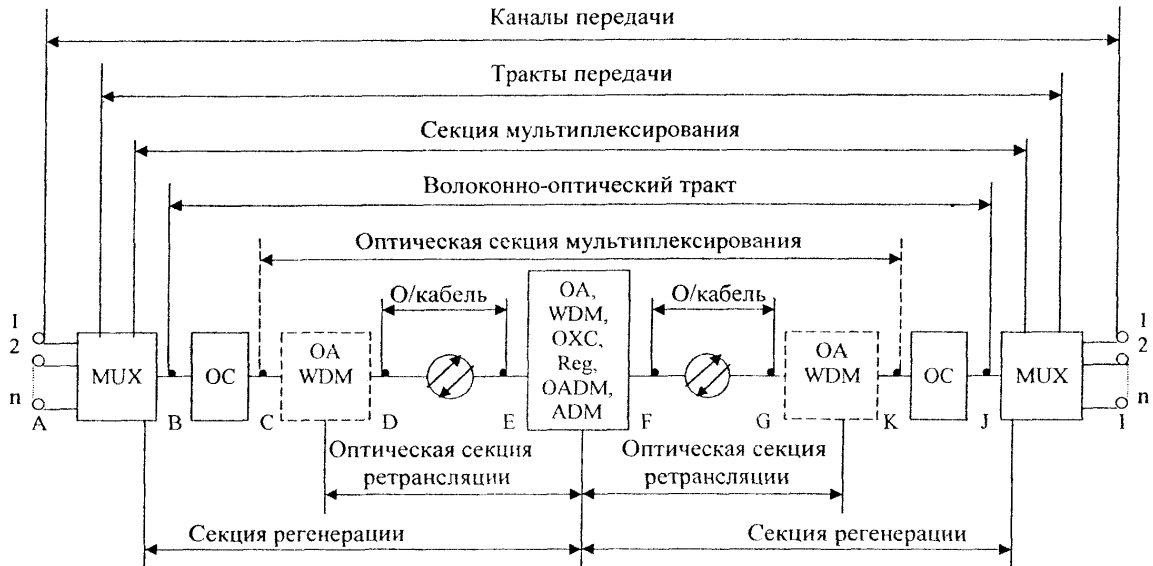
$$n_c = 1,1835 \cdot 10^3$$

Находим искомую чувствительность ПРОМ  $P_{\min}$ :

$$P_{\min} = \frac{n_c \cdot h \cdot c \cdot B}{\eta \cdot \lambda} = \frac{1,1835 \cdot 10^3 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 622 \cdot 10^6 \cdot 6,62 \cdot 10^{-34}}{0,85 \cdot 1340 \cdot 10^{-9}} = 1,284 \cdot 10^{-7} \text{ Вт}$$

$$P_{\min} = -38,914 \text{ дБм}$$

Схема участка цифрового линейно тракта:



### Задача 2 (к разделу 3.3)

Оценить чувствительность ПРОМ для коэффициента битовых ошибок  $P_{\text{ош}} = 10^{-8}$ , считая, что основой ПУ является интегрирующий усилитель, в первом каскаде которого используется Si – ПТШ. Цифровой сигнал в форме NRZ – кода передается по ВОЛС со скоростью  $V = 10^7$  бит/с методом модуляции на длине волны  $\lambda = 0.95$  мкм. После преобразований в линии этот импульс на входе ПРОМ приобретает гауссову форму с параметром  $\alpha = 0.1$ , а сквозная АЧХ ПРОМ имеет вид “приподнятого косинуса”. Светочувствительным элементом ПРОМ является p-i-n диод, работающий при комнатной температуре с квантовой эффективностью  $\eta = 0.8$ , темновым током  $i_{\text{тТ}} = 10$  нА и нагруженным на сопротивление  $R = 1$  МОм. Оценить номиналы элементов ПШК, полагая, что емкость ФД и входного каскада ПУ равна 10 пФ.

#### Решение.

**Дано:**  $V = 10^7$  бит/с; NRZ;  $\lambda = 950$  нм;  $L = 380$  км;  $P_{\text{ош}} = 10^{-8}$ ; Si – ПТШ; pin-диод;  $\eta = 0.8$ ;  $i_{\text{тТ}} = 10$  нА;  $R = 1$  МОм;  $C = 10$  пФ.

**Найти:**  $P_{\text{min}} = ?$

Требуемые постоянные;

$$C = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}; \quad h = 6.22 \cdot 10^{-34}; \quad K = 1.38 \cdot 10^{-23}; \quad T = 293 \text{ }^\circ\text{K}; \quad q = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

После преобразований в линии этот импульс на входе ПРОМ приобретает гауссову форму с параметром  $\alpha = 0.1$ .

Мы можем путём подбора прикинуть величину параметра Q. Используя формулу:

$$BER(Q) = 0.65 \cdot e^{-0.444(0.75+Q)^2}.$$

Получаем величину  $Q = 0.625$ .

Далее задаём параметры нашей системы: будем считать, что все устройства в линии работают при комнатной температуре, то есть  $t = 300$  К. Величину тактового интервала определим следующим образом:

$$T = \frac{1}{B} = 1 \cdot 10^{-7} \text{ с.}$$

Теперь, непосредственно, перейдём к нахождению параметров ПРОМ. Так как нам даны pin-диод и Si-ПТШ мы получаем по таблице значений:

$\Gamma = 1,5$  – коэффициент шума полевого транзистора;

$I_3 = 0,1 \cdot 10^{-9}$  А – ток утечки затвора полевого транзистора;

$g_m = 7 \cdot 10^{-3}$  См – проводимость канала полевого транзистора;

$C = 10 \cdot 10^{-12}$  Ф – емкость перехода сток-исток полевого транзистора.

Среднее число электронов шумового источника тока:

$$n_i = \frac{I_3 T}{q} = \frac{0,1 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 62,5.$$

Среднее число фотоэлектронов шумового источника напряжения:

$$n_e = \frac{2 \cdot k \cdot t \cdot \Gamma \cdot T}{q^2 \cdot R^2 \cdot g_m} = \frac{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot (1 \cdot 10^6)^2 \cdot 7 \cdot 10^{-3}} = 6,769 \cdot 10^4.$$

Рассчитываем интегралы Персонака:

$$I_2(\alpha) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{16\alpha^2 \cdot x^2} (\cos(x))^4 dx \quad I_2(\alpha) = 0,387$$

$$I_3(\alpha) = \left(\frac{2}{\pi}\right)^3 \int_0^{\frac{\pi}{2}} e^{16\alpha^2 \cdot x^2} x^2 \cdot (\cos(x))^4 dx \quad I_3(\alpha) = 0,033.$$

Находим шумовое число фотоэлектронов  $n_{TT}$  и  $n_t$  на ТИ:

Эквивалентное число электронов, связанные с тепловыми шумами:

$$n_t = \frac{2 \cdot k \cdot t \cdot T}{q^2 \cdot R} = \frac{2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300 \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{(1,6 \cdot 10^{-19})^2 \cdot 1 \cdot 10^6} = 3,159 \cdot 10^4$$

Эквивалентное число электронов, связанные с темновым током шумами:

$$n_{tt} = \frac{i_{tt} \cdot T}{q} = \frac{10 \cdot 10^{-9} \cdot 1 \cdot 10^{-7}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 6250$$

Выражение для Q-фактора ПУ можно выразить соотношением чисел сигнальных и шумовых фотоэлектронов на анализируемом ТИ:

$$Q = \frac{n_c (1 - 2\gamma)}{\sqrt{2} \left( \sqrt{(1 - \gamma)n_c G + n_{TT} + n_t} + \sqrt{\gamma n_c G + n_{TT} + n_t} \right)}.$$

Так как репитеры будут стоять в трассе таким образом, чтобы межсимвольные искажения 1-ого рода были сведены к минимуму, то величину  $\gamma$  (определяющее дисперсионные уширения импульса за пределы своего сигнального интервала) можно принять равной нулю.

Число сигнальных фотоэлектронов, принятых ПРОМ в течении времени T:

$$n_c = 2 \cdot I_2(\alpha) \cdot Q^2 + 2 \sqrt{2I_2(\alpha)} \cdot Q \cdot \sqrt{n_t + n_{tt} + n_e + n_i} \cdot \left( 1 + C^2 \cdot R^2 \cdot B^2 \frac{I_3(\alpha)}{I_2(\alpha)} \right) = 3 \cdot 10^3.$$

А минимальная мощность при этом будет:

$$P_{\min} = \frac{n_c \cdot h \cdot \nu}{h \cdot \lambda}; \quad P_{\min} = 7.87 \cdot 10^{-9} \text{ Вт}$$

Тогда величина в дБм будет: -51,038 дБм.

Расчет корректора ПШК.

Для скорости  $B=10^7$  бит/с по теореме Найквиста требуется полоса частот

$$\Delta f = \frac{B}{2} = \frac{10^7}{2} = 5 \text{ МГц.}$$

Отсюда следует, что граничная частота входной цепи равна:

$$f_1 = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C_{BX}} = \frac{1}{6.28 \cdot 10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-12}} = 15.92 \text{ кГц.}$$

Требуемый коэффициент расширения спектра:  $m = \frac{\Delta f}{f_1} = \frac{5000}{15.92} = 314.07$ .

Полагая, что

$$R_1 + R_2 = 100 \text{ кОм}, \quad \frac{R_1}{R_2} = m,$$

находим:  $R_2(m+1) = 100 \text{ кОм}$ . Следовательно:

$$R_2 = \frac{100 \cdot 10^3 \text{ Ом}}{m+1} = \frac{100 \cdot 10^3 \text{ Ом}}{315.07} = 0,317 \text{ кОм}; \quad R_1 = m \cdot R_2 = 314.07 \cdot 0,317 = 99,56 \text{ кОм.}$$

Емкость  $C_1$  находится из условия:

$$R_1 C_1 = R_2 C;$$

$$\text{Откуда:} \quad C_1 = \frac{R_2 C}{R_1} = \frac{10^6 \cdot 10 \cdot 10^{-12}}{99,56 \cdot 10^3} = 100 \text{ пФ.}$$

## 6.4 Метрология в оптических телекоммуникационных системах

### Задача 1 (к разделу 3.4)

Многомодовое ОВ используется в ЛВС (LAN) в горизонтальной проводке длиной 80 м.

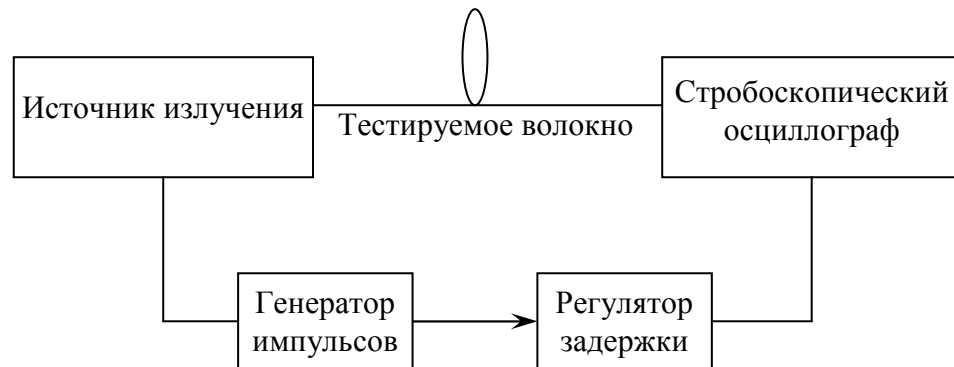
Опишите измерение межмодовой дисперсии оптических волокон по искажению импульса.

#### Решение

Межмодовая дисперсия вызывает изменение формы импульсов и, обычно, ограничивает расстояние передачи многомодового кабеля до 1 км и менее, обеспечивая битовую скорость не более 1 Гб/с. Для аттестации и сопоставления дисперсионных свойств многомодовых волокон необходимо стандартизовать условия измерения. В первую очередь это относится к способам оптического возбуждения, которые должны обеспечить повторяемость результатов при измерении дисперсии. Стандартизованным способом возбуждения при измерении дисперсии является равновесное возбуждение мод, поскольку оно создает условия, наименее благо-

приятные для распространения и обеспечивает максимальную дисперсию. Обычно, на входе оптического волокна устанавливают устройство скремблирования, которое задает режим возбуждения большого количества мод. Кроме того, необходимо устранить распространение мод по оболочке.

Для измерения межмодовой дисперсии используются различные методы. Одним из них является метод измерения межмодовой дисперсии по искажению импульса. Схема измерения межмодовой дисперсии многомодового волокна импульсным методом приведена на рисунке.



В световод посылается импульс, меньший по длительности ожидаемого отклика, и измеряется уширение импульса при его распространении. Источник излучения подключается ко входу тестируемого ОВ. К выходу ОВ подключается приёмник излучения, соединённый со стробоскопическим осциллографом, по которому и определяется длительность импульса. При измерении входного импульса вместо тестируемого ОВ используется эталонное волокно, которое представляет собой короткий, в несколько метров, отрезок тестируемого ОВ

Если импульсы на выходе и входе волокна имеют гауссову форму, то дисперсию определяют согласно выражению:  $\tau = \sqrt{\tau_{\text{вых}}^2 - \tau_{\text{вх}}^2}$ , где  $\tau_{\text{вых}}$  и  $\tau_{\text{вх}}$  - соответственно длительность импульсов на выходе и входе волокна, измеренная на уровне 0,5 максимальной интенсивности.

### Задача 2 ((к разделу 3.4)

Протяженность ОВ марки Corning LEAF составляет 6 км. Опишите измерение затухания ОВ методом обламывания.

### Решение

Затуханием оптического волокна называется ослабление интенсивности света по мере распространения его в оптическом световоде. Затухание является наиболее важным параметром оптических волокон. Полное затухание оптического сигнала в световодах определяется коэффициентом затухания  $\alpha$ , который характеризует ослабление излучения за счет собственного поглощения материала сердцевины, рэлеевского рассеяния, обусловленного малыми по сравнению с длиной волны флуктуациями показателя преломления оптического волокна, ослабления излучения, связанного с наличием в оптическом волокне посторонних примесей, приводящих к дополнительному поглощению оптической мощности, потерь опти-



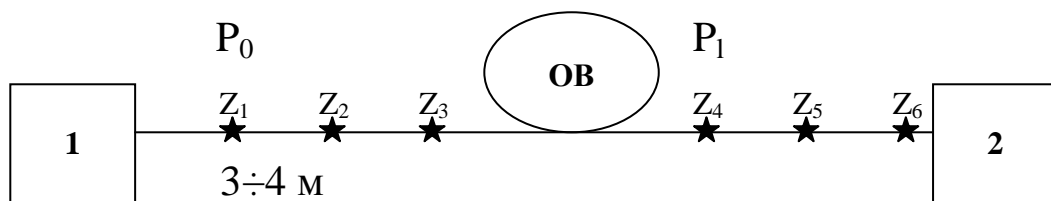
ческой мощности за счет скрутки, деформации и изгибов оптического волокна при изготовлении оптического кабеля.

Измеряют, как правило, коэффициент полного затухания оптического световода по мощности  $\alpha$ , который при согласованном вводе и выводе излучения, к чему обычно стремятся на практике, определяется формулой:

$$\alpha = 10 \lg \left( \frac{P_0}{P_L} \right), \text{ дБ}$$

На практике наиболее используемыми методами измерения затухания ОВ являются метод обламывания и метод вносимых потерь. Методы относятся к группе «точка-точка», при которых измеритель и источник размещаются по разные стороны тестируемого объекта.

При использовании метода обламывания сначала фиксируются показания измерителя мощности при подключении к источнику излучения тестируемого волокна. Затем при выключенном источнике производится обламывание волокна на расстоянии  $\sim 3-4$  м от источника и фиксируется торец отрезка на входе измерителя мощности.



При включении излучателя вновь фиксируются показания измерителя. Потери определяются как разность между эталонным уровнем  $\alpha_{\text{эт}}$  (на коротком отрезке) и уровнем измерения на всей длине волокне  $\alpha_{\text{изм}}$ :  $\alpha = \alpha_{\text{эт}} - \alpha_{\text{изм}}$ . Для повышения точности при малом значении потерь измерение производят несколько раз, обламывая оптическое волокно в нескольких точках.

Метод обламывания является наиболее точным методом измерения затухания, сравнительно прост, но из-за необходимости разрыва волокна его использование при настройке и техническом обслуживании ВОЛС в полевых условиях неэффективно. Поэтому он применяется в основном при производстве оптических волокон.

## 6.5. Сети связи и системы коммутации

### Задача 1 (к разделу 3.5)

1) Средняя нагрузка в ЧНН, создаваемая межстанционным обменом двух коммутационных станций, равна 19 Эрл. Пусть непосредственная связь между этими станциями осуществляется по  $N$  каналам одной линии передачи со средней частотой

занятия одного канала, равной 8,6 выз./мин и вероятностью блокировки 0,5%. Предполагается, что доступ к каналам осуществляется системой с ожиданием.

1. Какова вероятность наличия очереди?
  2. Чему равно общее время ожидания доступа к каналу?
- 2) Возможно ли применить на данной конфигурации сети станцию ISDN? Какого типа доступ?

### Решение

**Вопрос 1)** Дано:  $B=0,5\%$ ;  $A=19$  Эрл;  $\lambda_1=8,6$  выз./мин

Найти:  $P(>0)=?$ ;  $\bar{t}_w=?$

1. Определим вероятность ожидания (вероятность наличия очереди на обслуживание), используя  $C$  – формулу Эрланга:

$$P(>0) = C = \frac{N \cdot E_{1,N}(A)}{N - A \cdot (1 - E_{1,N}(A))},$$

где  $E_{1,N}(A)$  –  $B$ -формула Эрланга для воображаемой системы с потерями, получающейся после ликвидации очереди в системе с ожиданием при величине поступающей нагрузки  $A$  и ёмкости пучка ЭСЛ коммутационной системы равной  $N$ , т.е. вероятность блокировки  $B=E_{1,N}(A)$ .

$C$ -формула примет вид:

$$P(>0) = \frac{N \cdot B}{N - A \cdot (1 - B)};$$

Из таблицы 3.1 [1] находим величину  $N$  при  $B=0,5\%$  и  $A=19$  Эрл;  $N=30$  каналов. Подставляя численные данные в формулу, получим:

$$P(>0) = \frac{30 \cdot 0,005}{30 - 19 \cdot (1 - 0,005)} = 0,0135 = 1,35\%$$

2. Определим общее время ожидания доступа к каналу:

$$\bar{t}_w = P(>0) \cdot t_w,$$

где  $t_w = \frac{t_{cp}}{(N - A)}$  – среднее время пребывания заявок в очереди при усреднении

только среди заявок, находящихся в очереди,

$$t_{cp} = \frac{A}{\lambda_1 \cdot N}, \text{ среднее время занятия ЭСЛ одним абонентом.}$$

$$t_{cp} = \frac{19}{8,6 \cdot 30} = 0,074 \text{ мин}$$

$$t_w = \frac{0,074}{(30 - 19)} = 0,0067 \text{ мин}$$

Подставляя численные значения в формулу для  $\bar{t}_w$ , получим:

$$\bar{t}_w = 9 \cdot 10^{-5} \text{ мин}$$

Ответ:

$$P(>0) = 1,35\%$$

$$\bar{t}_w = 9 \cdot 10^{-5} \text{ мин.}$$

**Вопрос 2)** На данной конфигурации сети возможно применить станцию ISDN с доступом PRA для потока H12 ( $30 \times 64 = 1920$  кбит/с) в европейском стандарте.

## Задача 2 (к разделу 3.5)

Учрежденческая АТС ёмкостью 96 каналов обеспечивает среднее качество обслуживания с вероятностью блокировки вызовов  $B=1\%$ .

1. Определить среднее время обслуживания одного требования без учёта времени ожидания, если средняя длина очереди на обслуживание содержит 0,3 места ожидания при средней величине полного времени обслуживания 0,8 минут.
2. Какое название носит оконечное станционное устройство каждой абонентской линии? Как называется абонентская линия, соединяющая абонента с АТС?

### Решение

#### Вопрос 1.

Дано:  $N=96$ ,  $B=1\%$ ,  $l=0,3$  Эрл,  $t_{np} = 0,8$  мин.

Найти  $t_{cp}$

*Решение.* По таблице 3.1 [1] для  $N=96$  и  $B=1\%$  находим  $A=80,3$  Эрл. Среднее время пребывания требования в системе складывается из среднего времени ожидания обслуживания  $\bar{t}_w$  и среднего времени обслуживания;

$$t_{np} = \bar{t}_w + t_{cp} = t_{cp} \left[ 1 + \frac{P(> 0)}{N - A} \right], \quad (1)$$

$$\text{где } P(> 0) = \frac{N \cdot B}{N - A(1 - B)} = \frac{96 \cdot 0,01}{96 - 80,3 \cdot (1 - 0,01)} = 0,058.$$

$$\text{Нетрудно видеть, что } t_{cp} = t_{np} \left/ \left[ 1 + \frac{P(> 0)}{N - A} \right] \right. = 0,8 \left/ \left[ 1 + \frac{0,058}{96 - 80,3} \right] \right. = 0,797 \text{ мин.}$$

Поскольку в условии задачи имеется избыточная информация: *средняя длина очереди на обслуживание содержит 0,3 места ожидания*, возможен другой способ определения величины  $t_{cp}$ .

Учитывая, что средняя длина очереди рассчитывается по формуле  $l = \lambda \cdot \bar{t}_w$ , получим  $\bar{t}_w = l / \lambda$ , где  $\lambda = A / t_{cp}$ .

$$\text{Следовательно, } t_{np} = l / \lambda \cdot t_{cp} + t_{cp}, \text{ откуда } t_{cp} = \frac{t_{np}}{\left[ \frac{l}{\lambda} + 1 \right]} = \frac{0,8}{\left[ \frac{0,3}{80,3} + 1 \right]} = 0,797 \text{ мин.}$$

*Ответ:*  $t_{cp} = 0,797$  мин.

#### Вопрос 2.

К станционным оконечным устройствам каждой абонентской линии относят *линейные комплекты* - исходящий (ИКСЛ) и входящий (ВКСЛ) комплекты соединительных линий,

Абонентская линия содержит три участка: *магистральный* участок (от станции до распределительного участка), *распределительный* участок, *абонентская проводка*.

## Список литературы

1. Положение об итоговой аттестации выпускников высших учебных заведений Российской Федерации от 25 марта 2003 года № 1155.
2. Положение об итоговой государственной аттестации выпускников ТУСУРа, одобренное методическим советом ТУСУРа (протокол № 145 от 26 мая 2005 г.) и утвержденное приказом № 3968 от 02.06.2005 г.
3. Методические рекомендации по определению структуры и содержания государственных аттестационных испытаний направления подготовки дипломированных специалистов 654400 телекоммуникации», разработанных УМО по образованию в области телекоммуникаций. –М: МТУСИ. – 2002.
4. Государственный образовательный стандарт высшего профессионального образования "Государственные требования к минимуму содержания и уровню подготовки выпускника по направлению 654400 «Телекоммуникации», включающий специальность 071700 - «Физика и техника оптической связи" . Утверждён 10.03 2000, Рег. № 20 тех/дс..
5. Оптические телекоммуникационные системы. Учебник для вузов/ В. Н. Гордиенко, В. В. Крухмалев, А. Д. Моченов, Р. М. Шарафутдинов . Под ред. Профессора ; под ред В. Н. Гордиенко. – М: Горячая линия – Телеком.2011. – 368 с.
6. Алексеев Е.Б., Гордиенко В.Н. и др. Проектирование и техническая эксплуатация цифровых телекоммуникационных систем и сетей. - Горячая линия-Телеком , 2008. -392 с
7. О.К. Скляр В Волоконно-оптические сети и системы связи: учебное пособие. – СПб.: Изд. «Лань», 2010. – 272 с.
8. Э.Л. Портнов. Принципы построения первичных сетей и оптические кабельные линии связи. Учебное пособие для вузов. – М.: Изд. «Горячая линия - Телеком», 2009. - 544 с.
9. Тарасов Л.В. Физические основы квантовой электроники: Оптический диапазон. Изд.2. - URSS, 2010 г.
10. Пихтин А.Н. Квантовая и оптическая электроника. Учебник. - М.: Абрис, 2012 г.
11. Горлов Н.И., Богачков И.В. Волоконно-оптические линии передачи. Методы и средства измерений параметров» . - Радиотехника, 2009 г.
12. Дмитриев С.А. Волоконно-оптическая техника: современное состояние и новые перспективы. –М.: Техносфера, 2010 г.
13. Портнов Э. Л. Оптические кабели связи их монтаж и измерение. Учебное пособие для вузов. –М.: Горячая линия-Телеком , 2012. -448 с.

Учебное издание

**Винокуров В.М.  
Ефанов В.И  
Коханенко А.П.  
Мандель А.Е.  
Шандаров В.М.  
Шарангович С.Н.**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПОДГОТОВКЕ К  
АТТЕСТАЦИОННОМУ ЭКЗАМЕНУ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 210401  
«ФИЗИКА И ТЕХНИКА ОПТИЧЕСКОЙ СВЯЗИ»**

**Учебно-методическое пособие по подготовке и проведению государственного  
экзамена для студентов специальности 210401–«Физика и техника оптической  
связи»**

Формат 60x84 1/16. Усл. печ. л. -----

Тираж 50 экз. Заказ -----.

Отпечатано в Томском государственном университете  
систем управления и радиоэлектроники.

634050, Томск, пр. Ленина, 40. Тел. (3822) 533018.