

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования

**Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники**

«Утверждаю»

Первый проректор

С.К. Дик

«___» _____ 2017 г.

ПРОГРАММА

вступительного экзамена в магистратуру по специальности
1-45 80 01 Системы, сети и устройства телекоммуникаций
факультета Телекоммуникаций
Профилирующая кафедра: «Системы телекоммуникаций»

Программа составлена на основе типовых учебных программ дисциплин первой ступени высшего образования по специальности 1-45 01 01-01 Инфокоммуникационные технологии (системы телекоммуникаций).

Составитель: д.т.н., зав. кафедрой СТК Цветков В.Ю.

Рассмотрена и рекомендована к утверждению на заседании кафедры Систем телекоммуникаций

протокол № 15 от 05.05.2017

Заведующий кафедрой

В.Ю.Цветков

1 МЕТОДЫ ФОРМИРОВАНИЯ И ОБРАБОТКИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

1.1 Аналоговые сигналы и системы, их цифровая форма.

Аналоговые сигналы и системы, проблемы анализа и синтеза. Дискретизация, квантование и кодирование аналоговых сигналов, основные характеристики и параметры схемы АЦП. Модель сигнала на выходе идеального дискретизатора как промежуточная форма, свойство модели, формула суммирования Пуассона. Необходимые и ограничительные условия при формировании цифровых сигналов в схеме АЦП. Обратимость преобразований в системе АЦП-ЦАП.

1.2 Z-преобразование и основные свойства.

Z-преобразования дискретных последовательностей как обобщение преобразований Фурье и Лапласа. Взаимосвязь P-плоскости и Z-плоскости, характер отображений. Обратимость преобразования. Представление в форме дробно-рациональной функции. Теоремы о сдвигах и свертках.

1.3 Линейные непрерывные и дискретные системы.

Линейные непрерывные и дискретные системы, методы представления, разностное уравнение и основные функциональные элементы системы. Определение импульсной характеристики ЛПП-системы, реакция системы как дискретная свертка. Коэффициент передачи, АЧХ и ФЧХ ЛПП-системы, периодичность частотных характеристик. Системная функция ЛПП-системы как обобщение коэффициента передачи, формы ее представления. Разностное уравнение и общая структура ЛПП-системы, ее основные варианты (КИХ- и БИХ-структуры). Основные варианты представления ЛПП-системы (прямая, каноническая, параллельная и каскадная формы). Принципы моделирования ЛПП-системы, выбор эквивалентной схемы. Основные этапы расчета параметров БИХ-фильтров методом Паде (методом эквивалентной импульсной характеристики). Представление ЛПП-системы на основе интерполяционной формулы Лагранжа, расчет параметров.

1.4 Генераторы дискретных сигналов.

Общие принципы построения генераторов дискретных сигналов. Особенности формирования дискретных сигналов с четной или нечетной симметрией на оси времени. Схема генерации чисел Фибоначчи, ее обобщение и приложение к формированию сложных сигналов. Генерация сложных (композиционных) сигналов на основе схемы свертки. Генерация управляющих и кодовых последовательностей, Z-преобразование в модульной арифметике. Генерация дискретных псевдослучайных сигналов, пример системной функции и схемы генерации M-последовательности.

1.5 Эффекты квантования.

Эффекты квантования параметров ЛПП-системы, шум квантования, основные разновидности. Форматы представления параметров в ЛПП-системах, достоинства и недостатки. Квантование параметров ЛПП-систем с усечением и округлением, особенности реализации.

1.6 Определение и свойства дискретного преобразования Фурье.

Дискретное преобразование Фурье, определение, свойства базисных функций. Дискретное преобразование Фурье, основные свойства: линейность, периодичность и комплексно-сопряженная симметрия коэффициентов. Дискретное преобразование Фурье, равенство Парсеваля, теорема о свертке и корреляции.

1.7 Применение дискретного преобразования Фурье.

Дискретное преобразование Фурье, условия применения: выбор массива данных, частоты дискретизации и частотного «разрешения» сигнала. Основной алгоритм ДПФ, особенности прямого и обратного преобразований, вычислительные проблемы. Общая блок-схема алгоритма прямого и обратного ДПФ. Вычислительные проблемы и ограничения в применении.

1.8 Быстрое преобразование Фурье: алгоритм и применение.

Алгоритм БПФ в форме рекуррентного уравнения, особенности варианта с «прореживанием» по времени. Алгоритм БПФ в форме рекуррентного уравнения, особенности варианта с «прореживанием» по частоте.

1.9 Дискретные свертки.

Переход от интегральной свертки к дискретной, необходимые и ограничительные условия. Разновидности дискретных сверток (линейная, круговая и «быстрая»), их особенности, способы вычисления. Сдвиг сигнала во времени как вырожденный случай свертки, импульсная и частотная характеристики дискретной линии задержки.

1.10 Проектирование КИХ-фильтров.

Основные варианты модификации исходных данных при задании эталонных характеристик (ИХ и КП) для проектирования КИХ-фильтров. КИХ-фильтр низких частот, особенности проектирования, влияние базы ИХ, варианты схемных решений. Низкочастотная фильтрация методом быстрой свертки, выбор параметров схемы обработки.

1.11 Дискретный дифференциатор, преобразователь Гильберта и интегратор.

Дискретный дифференциатор, импульсная и частотная характеристики, выбор частоты дискретизации, схемное решение. Дискретный преобразователь Гильберта, импульсная и частотная характеристики, схемное решение. Дискретный интегратор, импульсная и частотная характеристики, схемное решение.

1.12 Модель модулированных сигналов.

Теорема о сдвигах в частотной области, применение к процессам модуляции и демодуляции. Определение аналитического сигнала, его основные свойства. Обобщенная модель модулированных сигналов с гармоническим несущим колебанием на основе понятий «аналитический сигнал» и «комплексная огибающая».

1.13 Схемы модуляции и демодуляции.

Гипотетические схемы модуляции и демодуляции, основные алгоритмы, развернутые схемы переноса спектра.

1.14 Амплитудно-модулированные сигналы.

Обобщенная математическая модель канального сигнала с амплитудной модуляцией. Формирование и прием однополосных АМ-сигналов, алгоритмы и

схемы. Варианты совместной передачи двух сообщений от разных источников на одной несущей частоте.

1.15 Частотная модуляция и демодуляция.

Моделирование передающей части системы связи с частотной модуляцией, алгоритм и схема. Моделирование приемной части системы связи с частотной модуляцией, вариант без переноса спектра «вниз».

2 СПУТНИКОВЫЕ И РАДИОРЕЛЕЙНЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

2.1 Основные энергетические соотношения в электромагнитном поле.

Определение диэлектрической и магнитной проницаемости в свободном пространстве. Расчет зависимости напряженности электрического поля от расстояния до источника излучения.

2.2 Определение уровня мощности входного сигнала приемного устройства.

Вывод уравнения для определения уровня мощности на входе приемного устройства в свободном пространстве и в реальных условиях. Принцип действия антенн. Типы антенн.

2.3 Влияние тропосферы и рельефа местности на распространение радиоволн.

Определение существенной области распространения радиоволн и значений радиусов различных зон Френеля. Расчет параметров минимальной зоны Френеля.

2.4 Рефракция радиоволн.

Структура атмосферы Земли и ее влияние на искривление траектории электромагнитного луча. Механизмы поглощения радиоволн в газах атмосферы и в гидрометеорах.

2.5 Структурные схемы радиосистем передачи.

Структурные схемы одноствольных и многоствольных многоканальных систем передачи, работающих в симплексном и дуплексном режимах работы. Достоинства и недостатки различных схем построения радиосистем передачи.

2.6 Частотные планы радиосистем передачи.

Классификация радиосистем передачи. Обоснование и выбор рабочего диапазона частот. Определение коэффициента системы.

2.7 Модуляция в аналоговых РСП.

Амплитудная частотная и фазовая модуляция. Вывод уравнений и определение основных параметров РСП для различных видов модуляции. Достоинства и недостатки различных видов модуляции.

2.8 Схемы построения радиосистем передачи.

Схемы построения оконечного оборудования радиорелейных систем передачи сигналов многоканальной телефонии и телевидения; основные компоненты, узлы и их назначение. Формирование линейного спектра.

2.9 Приемно-передающая аппаратура радиосистем передачи.

Структурные схемы, параметры и характеристики передающих и приемных устройств РСП. Основные функциональные элементы приемных и передающих устройств РСП и их назначение.

2.10 Тракты промежуточной частоты радиосистем передачи.

Структурная схема тракта промежуточной частоты. Система автоматической регулировки уровня сигнала. Диаграмма уровней и согласование динамических диапазонов на входе и выходе тракта промежуточной частоты.

2.11 Малошумящие усилители и усилители мощности в радиосистемах передачи.

Схемы построения малошумящих усилителей. Уровень входного шума и возможности его снижения. Принцип действия ламп бегущей волны и многорезонаторных пролётных клистронов. Их достоинства и недостатки.

2.12 Схемы построения оконечных и промежуточных радиорелейных систем передачи.

Схемы оконечных и промежуточных радиорелейных систем передачи (РРСП). Достоинства и недостатки различных схем построения. Системы электропитания, резервирования и техобслуживания РРСП.

2.13 Цифровой тракт радиорелейной системы передачи.

Основные компоненты и узлы. Регенерация, скремблирования, преобразование кодов.

2.14 Особенности построения блоков цифровых радиосистем передачи.

Структурные схемы внешнего и внутреннего блоков. Назначение элементов. Особенности их построения.

2.15 Причины возникновения ошибок в цифровых радиосистемах передач.

Тепловые шумы и межсимвольные искажения. Линейные и нелинейные искажения. Вероятность ошибочного приема.

2.16 Характеристики канала радиорелейных систем передачи.

Быстрые и медленные замирания. Гладкие и селективные замирания. Нормированная функция корреляции. Радиус частотной корреляции.

2.17 Методы борьбы с замираниями путем разнесения сигналов.

Пространственный, частотный и угловой разнос. Комбинирование разнесенных сигналов. Линейное и оптимальное сложение разнесённых сигналов.

2.18 Методы борьбы с селективными замираниями и межсимвольными искажениями.

Методы борьбы с селективными замираниями. Временная и пространственная корреляции. Межсимвольные искажения. Ортогональное частотное разнесение.

2.19 Принципы построения ТРСП.

Особенности построения. Эффект потери усиления антенн в тропосферных системах передачи (ТРСП). Выбор оптимального диапазона частот ТРСП.

2.20 Автокорреляционная обработка сигналов тропосферных систем передачи.

Системы автокорреляционной обработки сигналов типа «Аккорд» и «Сатурн». Достоинства и недостатки использования составных сигналов.

2.21 Структурные схемы тропосферных станций.

Типовые структурные схемы станций ТР-120, ДТР-12, Р-423, параметры и характеристики. Тенденции развития ТРСП.

2.22 Принципы построения спутниковых систем передачи.

Типы орбит. Их достоинства и недостатки. Определение зоны радиовидимости.

2.23 Энергетический расчет спутниковой линии передачи.

Расчет отношения мощности к мощности шума для линии «вверх» и линии «вниз». Построение диаграммы уровней, расчет уровня мощности шума на входе приемников.

2.24 Многостанционный доступ в спутниковых системах передачи.

Многостанционный доступ с разделением по частоте, по времени и по форме. Достоинства и недостатки различных видов многостанционного доступа.

2.25 Типовые структурные схемы бортовых ретрансляторов и земных станций спутниковых систем передачи.

Типовые структурные схемы бортовых ретрансляторов и земных станций. Ретрансляция прямая и с обработкой на борту. Достоинства и недостатки.

2.26 Международные и региональные спутниковые системы передачи (ССП).

Международные и региональные системы спутниковой передачи информации. Системы персональной и мобильной спутниковой связи. Тенденции развития спутниковых систем передачи.

2.27 Источники взаимных помех.

Причины возникновения взаимных помех при работе в совмещенном диапазоне частот. Системные и межсистемные помехи. Общая характеристика. Проблемы ЭМС. Радиопомехи и их классификация. Регламент Международного Союза Электросвязи.

2.28 Побочные излучения передатчиков и побочные каналы приема в приемниках.

Побочные и внеполосные излучения передатчиков спутниковых систем передачи. Интермодуляционные каналы приема при различных значениях мощностей сигналов помех.

2.29 Методы улучшения основных параметров электромагнитной совместимости.

Методы улучшения электромагнитной совместимости за счет амплитудной селекции, дисперсии дискретных составляющих и ограничения технических параметров радиорелейных и спутниковых систем передачи.

2.30 Оптимизация параметров радиорелейных и спутниковых систем передачи.

Критерии оптимизации радиорелейных и спутниковых систем передачи. Алгоритм оптимального выбора высот подвеса антенн.

3 КОМПОНЕНТЫ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧ

3.1 Основные элементы оптического квантового генератора и оптического усилителя.

Вынужденное излучение и поглощение. Спонтанные переходы. Безызлучательные переходы. Коэффициент усиления среды. Требования к активной среде лазера. Оптические резонаторы: резонатор Фабри–Перо, призмный, с распределенной обратной связью. Ширина спектральной линии,

добротность резонатора. Условия самовозбуждения лазера. Режимы работы лазера. Свойства лазерного излучения.

3.2 Резонаторы лазеров.

Оптические резонаторы: резонатор Фабри–Перо, призмный, с распределенной обратной связью. Ширина спектральной линии, добротность резонатора. Условия самовозбуждения лазера. Режимы работы лазера. Свойства лазерного излучения.

3.3 Полупроводниковые лазеры.

Требования к материалам полупроводниковых лазеров. Свойства гетеробарьера. Пороговое условие генерации. Основные характеристики полупроводниковых лазеров. Ватт-амперная характеристика. Пороговый ток. Квантовая эффективность. Диаграмма направленности. Характеристика прямой модуляции.

3.4 Светодиоды.

Принцип работы. Конструкции. Основные характеристики.

3.5 Оптические усилители.

Принципы работы. Основные характеристики. Конструкции.

3.6 Модуляция оптического излучения.

Физические основы модуляции излучения. Линейный и квадратичный электрооптические эффекты, используемые в оптических модуляторах. Акустооптический эффект. Эффект Франца–Келдыша. Частотная и фазовая модуляция. Современные типы модуляторов.

3.7 Акустооптический эффект. Эффект Франца–Келдыша.

Акустооптический эффект. Эффект Франца–Келдыша. Частотная и фазовая модуляция. Современные типы модуляторов.

3.8 Модуляторы по интенсивности.

Прямая модуляция по интенсивности, модуляторы по интенсивности, электрооптические, абсорбционные, их параметры. Интегральная оптика, возможности и трудности.

3.9 P-i-n фотодетекторы.

P-i-n-фотодиоды, их основные характеристики (квантовая эффективность, быстродействие, чувствительность и др.). Схемы включения *p-i-n*-структур.

3.10 Лавинные фотодиоды.

Лавинные фотодиоды (ЛФД), их конструкции, достоинства, недостатки и основные характеристики. Требования к фотоприемникам при использовании их в ВОСП.

3.11 Оптические волокна и кабели.

Физические принципы работы оптического волокна (ОВ). Типы оптического волокна. Затухание в оптических волокнах и кабелях. Дисперсия в ОВ: модовая, хроматическая, поляризационная. Стандарты на параметры световодов. Одномодовые волокна новых типов.

3.12 Разъемные и неразъемные соединения.

Причины возникновения потерь и их расчет для многомодовых световодов. Расчет потерь в соединителях одномодовых волоконных световодов. Основные типы разъемных соединителей и их параметры.

3.13 Пассивные оптические элементы

Волоконно-оптические ответвители и разветвители. Принцип работы. Основные характеристики.

3.14 Изоляторы, их параметры.

Волоконно-оптические переключатели, изоляторы и поляризаторы.

3.15 Элементы спектрального разделения оптических мультиплексоров.

Оптические мультиплексоры/демультиплексоры и их характеристики.

3.16 Элементы коммутации и коммутаторы.

Типы базовых оптических кросс-коммутаторов. Логика и топология многокаскадных оптических коммутаторов. Перспективы развития комплектующих волоконно-оптических систем.

ЛИТЕРАТУРА

Литература к разделу 1

1. Основы цифровой обработки сигналов : курс лекций / А.И. Солонина [и др.]. – СПб.: БХВ–Петербург, 2005.

2. Айфичер, Э. С. Цифровая обработка сигналов : практический подход / Э.С. Айфичер, Б. У. Джервис ; пер. с англ. – 2-е изд. – М. : Издат. дом «Вильямс», 2004.

3. Овсянников, В. А. Методы формирования и цифровой обработки сигналов: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1: Z-преобразование, свертка и генерация дискретных сигналов / В. А. Овсянников. – Минск : БГУИР, 2007.

4. Овсянников, В. А. Основы цифровой обработки сигналов : метод. пособие для самост. работы студ. по курсу «Теория электрической связи». В 2 ч. / В.А. Овсянников. – Минск: МРТИ, 1989; 1990.

5. Учебно-методическое пособие (с грифом УМО вузов РБ): В.А. Овсянников. Методы формирования и цифровой обработки сигналов. В 2-х частях. Часть 2. Дискретное преобразование Фурье, фильтрация и модуляция. Минск, БГУИР, 2010, 136 с.

6. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов / Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М.: Мир, 1973.

7. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов / А. Б. Сергиенко. – СПб.: Питер, 2002.

8. Куприянов, М. С. Цифровая обработка сигналов. Процессоры, алгоритмы, средства проектирования / М. С. Куприянов, Б. Д. Матюшкин. – 2-е изд. – СПб.: Политехника, 2002.

9. Теория электрической связи: учебник для вузов / под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1998.

10. Сиберт, У. М. Цепи, сигналы, системы. В 2 ч. / У. М. Сиберт; пер. с англ. – М.: Мир, 1988.

11. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для вузов / Л.М. Гольденберг [и др.]. – М.: Радио и связь, 1990.

Литература к разделу 2

1. Гордиенко, В. Н. Многоканальные телекоммуникационные системы: учеб. для вузов. – 2 изд., испр. и доп. / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий – М. : Горячая линия–Телеком, 2013.
2. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи: учеб. пособие для вузов / под ред. проф. М.А. Быховского. – М. : Горячая линия–Телеком, 2014.
3. Разинкин, В. П. Широкополосные управляемые СВЧ устройства высокого уровня мощности / В.П. Разинкин, В.А. Хрусталева, Л.Ю. Матвеев. – Новосибирск: НГТУ, 2014.
4. Неганов, В. А. Устройства СВЧ и антенны. В 2-х частях. Часть 2. Теория и техника антенн / В. А. Неганов, Д. С. Клюев, В. А. Табаков. – М.: URSS, 2014.
5. Неганов, В. А. Устройства СВЧ и антенны. В 2-х частях. Часть 1. Проектирование, конструктивная реализация, примеры применения устройств СВЧ / В. А. Неганов, Д. С. Клюев, В. А. Табаков. – М.: URSS, 2013.
6. Хансен, Р. С. Фазированные антенные решетки / Хансен Р.С., А.И. Синани. Пер. с англ. – 2 изд. – М. : Техносфера, 2012.
7. Муравьев, В. В. Проектирование цифровых радиорелейных линий связи: метод. пособие / В.В. Муравьев, Э.Б. Липкович. – Минск: БГУИР, 2011.
8. Основы управления использованием радиочастотного спектра. В 3-х т. Т. 3. Частотное планирование сетей телерадиовещания и подвижной связи. Автоматизация управлением использования радиочастотного спектра / под ред. М.А. Быховского. – М.: КРАСАНД, 2012.
9. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи / М.А. Быховский [и др.]. – М. : Горячая линия – Телеком, 2013.
10. Основы управления использованием радиочастотного спектра. В 3-х т. Т. 2. Обеспечение электромагнитной совместимости радиосистем / под ред. М.А. Быховского. – М.: КРАСАНД, 2012.
11. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей : учеб. Для вузов / В.В. Крухмалев, В.Н. Гордиенко, А. Д. Моченов [и др.]. – М.: Горячая линия–Телеком, 2004.
12. Радиорелейные и спутниковые системы передачи : учеб. для вузов / под ред. А. С. Немировского. – М. : Радио и связь, 1986.
13. Радиосистемы передачи информации: учеб. пособие для вузов / В.А. Васин, В.В. Калмыков, И. Б. Федоров [и др.]. – М.: Горячая линия–Телеком, 2005.
14. Телекоммуникационные системы и сети : учеб. пособие / под ред. проф. В.П. Шувалова. – М. : Горячая линия–Телеком, 2005.
15. Цифровые и аналоговые системы передачи: учеб. для вузов / под ред. В.И. Иванова. – М.: Горячая линия–Телеком, 2003.
16. Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – 2-е изд. пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003.
17. Справочник по цифровым радиорелейным системам. – Женева : Бюро радиосвязи, 1996.

18. Липкович, Э. Б. Проектирование и расчет систем цифрового спутникового вещания : учеб.-метод. пособие / Липкович Э.Б., Д.В. Кисель – Минск : БГУИР, 2006.
19. Рекомендации МСЭ-R P/676-7. Ослабление в атмосфере.
20. Рекомендации МСЭ-R P/580-5. Показатели направленности антенн.
21. Рекомендации МСЭ-R F.1093-2.
22. Рекомендации МСЭ-R F.1705.
23. Антипенко В.А. Расчет показателей готовности трактов цифровых радиорелейных линий связи//Электросвязь. – 2006.
24. Рекомендации МСЭ-R F/1703. Показатели готовности для реальных радиорелейных линий, используемых на гипотетических эталонных трассах и соединениях длиной 27500 км.
25. Рекомендации МСЭ-R P/530-11. Данные о распространение радиоволн и методы прогнозирования, требующиеся для проектирования наземных систем прямой видимости.
26. Справочник по радиорелейной связи / под ред. С.В. Бородича. – М.: Радио и связь, 1981.
27. Рекомендации МСЭ-R F/1668. Нормы на показатели по ошибкам для реальных цифровых линий фиксированной беспроводной связи, используемых на гипотетических эталонных трактах длиной 27500 км и соединениях.
28. Калинин, А. М. Влияние частотной селективности интерференционных замираний на трассах с гладкими профилями на устойчивость работы цифровых РРЛ // Электросвязь. – 1998. – №3. – С. 25–29.
29. Липкович, Э. Б. Принципы построения радиорелейных систем передачи. Лабораторный практикум: пособие / Э.Б. Липкович, В.Н. Мищенко. – Минск : БГУИР, 2014.
30. Липкович, Э.Б., Мищенко В.Н. Изучение и исследование оборудования цифровой системы передачи. Лабораторный практикум: пособие / Э. Б. Липкович, В.Н. Мищенко. – Минск : БГУИР, 2012.

Литература к разделу 3

1. Фриман, Р. Волоконно-оптические системы связи / Р. Фриман. – М. : Техно-сфера, 2004.
2. Дмитриев, С.А. Волоконно-оптическая техника. Современное состояние и новые перспективы / под ред. С. А. Дмитриева, Н. Н. Слепова – М.: Техносфера, 2010.
3. Андреев, В.А. Направляющие системы электросвязи: Учебник для вузов. В 2-х томах. Том 1 – Теория передачи и влияния / В.А. Андреев, Э.Л. Портнов, Л.Н. Кочановский; под ред. В.А. Андреева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2011.
4. Иоргачев Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи – М.: Эко-Трендз, 2002.
5. Андреев, В.А. Технология строительства ВОЛП. Оптические кабели и волокна / В.А. Андреев, Р.В. Андреев и др – Самара: «СРТТЦ ПГУТИ», 2011.

6. Алишев, Я. В. Перспективные информационные технологии в волоконно-оптических сетях телекоммуникаций / Я. В. Алишев, В. Н. Урядов. –Мн.: Бестпринт, 2003.
7. Статьи из журналов «Электросвязь», «Вестник связи», «Lightwave» и др.
8. Шевцов, З.А., Белкин. М.Е. Фотоприемные устройства волоконно-оптических систем передачи. – М. : Радио и связь, 1992.
9. Техника оптической связи : фотоприемники / под. ред. У. Тсанга ; пер. с англ. – М. : Мир, 1988.
10. Гауэр, Дж. Оптические системы связи / Дж. Гауэр ; пер. с англ. – М. : Радио и связь, 1989.
11. Козанне, А. Оптика и связь / А. Козанне, М. Г. Флереж., М. М. Руссо. – Мир, 1984.
12. Убайдуллаев, Р. Р. Волоконно-оптические сети / Р. Р. Убайдуллаев. – М. : Эко-трендз, 1998.
13. Унгер, Г. Г. Оптическая связь / Г. Г. Унгер ; под ред. Н. А. Семенова ; пер. с нем. – М. : Связь, 1979.
14. Алишев, Я. В. Многоканальные системы передачи оптического диапазона / Я. В. Алишев. – Минск: Выш. шк., 1986.
15. Алишев, Я. В. Оптические системы передачи. В 2 ч. / Я. В. Алишев, В. Н. Урядов. – Минск : БГУИР, 1996; 1998.
16. Гомзина, В.Н. Волоконно-оптические системы передачи / М. М. Бутусов [и др.] ; под ред. В. Н. Гомзина. – М. : Радио и связь, 1992.
17. Основы оптоэлектроники ; пер с яп. – М. : Мир, 1988.
18. Звелто, О. Принципы лазеров / О. Звелто ; пер. с англ. – 3-е изд. перераб. и доп. – М. : Мир, 1990.
19. Иванов, А. Б. Волоконная оптика : компоненты, системы передачи, измерения / А. Б. Иванов. – М. : Компания «Сайрус Системс», 1999.
20. Скляр, О. К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратуры и элементы / О. К. Скляр. – М. : Солон-Р, 2001.