

**Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого**

---

**Институт физики, нанотехнологий и телекоммуникаций**

Утверждаю

Директор ИФНиТ



Макаров С.Б.

**ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ЭКЗАМЕНА  
В МАГИСТРАТУРУ**

Направление подготовки:

**11.04.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2017**

## **Общая часть**

### ***Электроника***

Полупроводниковые диоды: классификация и условные обозначения, особенности устройства и работы, вольтамперные характеристики и основные параметры.

Биполярные транзисторы (БТ): классификация и условные обозначения, устройство, принципы и режимы работы, схемы включения. Основные физические процессы в БТ. Усилительные свойства БТ в различных схемах включения. Работа БТ в режиме ключа, его частотные и импульсные свойства.

Полевые транзисторы (ПТ): классификация и условные обозначения, типы, устройство, схемы включения. Вольтамперные характеристики и параметры. ПТ с изолированным затвором: механизм образования индуцированного или встроенного канала.

### ***Теория электрических цепей***

Гармонические колебания в линейных электрических цепях. Метод комплексных амплитуд. Комплексные сопротивления и проводимости.

Векторная диаграмма. Комплексная мощность, активная и реактивная мощность.

Резонансные явления в электрических цепях. Резонанс напряжений. Резонанс токов. Входное сопротивление контура при резонансе и в области малых расстройках. Простейшие фильтры (ФНЧ, ФВЧ, полосовой, режекторный).

Частотный спектр периодического колебания. Ряд Фурье. Спектр непериодического колебания, преобразование Фурье. Спектральный метод анализа электрических цепей. Импульсная и переходная характеристики. Преобразование Лапласа и операторный метод анализа цепей.

Четырехполюсники (линейные и нелинейные) и их характеристики.

Малосигнальный режим, системы малосигнальных параметров ( $Y$ ,  $Z$ ,  $H$ ,  $A$ ) и связь между ними.

Метод узловых потенциалов. Метод переменных состояния.

### ***Радиотехнические цепи и сигналы***

Принципы усиления. Классификация усилителей. Основные показатели усилителей: коэффициенты усиления, входное и выходное сопротивления.

Нелинейные цепи в режиме постоянного тока. Нелинейный трехполюсник в режиме малых колебаний.

Малосигнальные параметры биполярных и полевых транзисторов. Схемы замещения. Усилители с общим эмиттером, общей базой, общим коллектором, сопоставление их свойств. Выбор рабочей точки. Методы ее стабилизации. Дифференциальный усилитель.

Схемы усилителей на полевых транзисторах. Параметры полевых и биполярных транзисторов на высоких частотах.

Операционный усилитель (ОУ). Условное обозначение, эквивалентная схема, внутреннее устройство ОУ. Передаточная характеристика ОУ. Идеальный ОУ. Частотная характеристика ОУ и ее коррекция. Примеры устройств усиления и преобразования сигналов на основе ОУ.

### ***Схемотехника телекоммуникационных устройств***

Элементная база аналоговой схемотехники. Пассивные и активные современные элементы, их модели и схемы замещения. Элементы теории обратной связи и устойчивости. Устойчивость по Найквисту. Диаграммы Боде.

Основные параметры и характеристики аналоговых электронных устройств.

Коэффициент передачи, входное и выходное сопротивления, частотные характеристики, динамический диапазон, шумовые параметры.

Согласование с генератором сигналов и нагрузкой.

Оконечные усилительные каскады. Выходной каскад усилителя мощности в режиме класса «А». Двухтактная схема выходного каскада. Эмиттерные повторители в выходных каскадах.

Генераторы тока. Токовые зеркала.

Основные показатели и характеристики аналоговых электронных устройств. Обратная связь и ее влияние на показатели и характеристики аналоговых устройств. Обеспечение и стабилизация режима работы транзисторов по постоянному току. Каскады предварительного усиления. Оконечные усилительные каскады. Операционные усилители. Активные резистивно-емкостные фильтры. Компараторы.

### ***Общая теория связи***

Классификация сообщений, сигналов и помех. Детерминированные и случайные процессы, их математические модели. Обобщенный ряд Фурье, неравенство Парсевала. Спектральное и временное представление сигналов.

Теорема Котельникова.

Эффективность аналоговых и цифровых систем при различных видах модуляции.

Формирование и детектирование сигналов, модулированных дискретными сообщениями. Понятие синхронизации и принципы ее обеспечения в системах электросвязи.

Основные положения теории разделения сигналов в системах многоканальной связи. Частотное, временное и фазовые разделения сигналов. Разделение сигналов по форме. Комбинационное разделение сигналов. Пропускная способность систем многоканальной связи. Принципы распределения информации.

Стратегии, критерии и алгоритмы оптимального приема. Функционал отношения правдоподобия. Алгоритмы и решающие схемы оптимального приема сигналов в канале с аддитивным шумом и постоянными параметрами.

Потенциальная помехоустойчивость. Алгоритмы и решающие схемы оптимального приема сигналов в канале с аддитивным шумом и неопределенной фазой.

Помехоустойчивость различных многопозиционных ансамблей сигналов.

Основные принципы приема сигналов: прямого усиления, супергетеродинный, инфрадинный и прямого преобразования. Усилительно-преобразовательный тракт. Диапазон частот, динамический диапазон, чувствительность, избирательность.

Требования к динамическому диапазону устройства при наличии помех.

Внутренние шумы. Коэффициент шума и эффективная температура. Чувствительность устройств приема сигналов, ограниченная внутренними шумами. Связь чувствительности и коэффициента шума.

### ***Вычислительная техника***

Основы алгебры логики. Комбинационные цифровые устройства: шифраторы, дешифраторы, кодопреобразователи, мультиплексоры, демультиплексоры. Последовательностные цифровые устройства: триггеры, регистры, счетчики, память, конечные автоматы.

Состязания сигналов.

Арифметика в фиксированной и плавающей точке.

Универсальные микропроцессоры, цифровые сигнальные микропроцессоры, микроконтроллеры. Прерывания, прямой доступ к памяти, интерфейсы.

### ***Профильная часть***

#### ***Устройства приема и обработки сигналов***

Структурные схемы радиоприемных устройств. Приемники: супергетеродинный, прямого усиления и прямого преобразования.

Основные характеристики радиоприемных устройств: чувствительность, частотная избирательность по основному, дополнительному и соседнему каналам, динамический диапазон, коэффициент шума. Методы подавления помех по дополнительным каналам приема.

Характеристики резонансных усилителей сигналов радиочастоты и промежуточной частоты. Обобщенная схема резонансного усилителя. Линейные и нелинейные искажения в резонансных усилителях. Перекрестные искажения.

Основные характеристики преобразователей частоты. Обобщенная схема преобразователя частоты. Нелинейные явления в преобразователях частоты. Комбинационные частоты. Основные структурные схемы преобразователей частоты. Схемы на транзисторах и на диодах.

Преобразователи частоты. Нелинейные эффекты при преобразовании частоты. Преобразователи частоты с подавлением зеркального канала. Особенности преобразователей частоты СВЧ диапазона.

Гетеродины. Сопряжение настроек гетеродинных контуров и преселекторов приема сигналов. Особенности построения гетеродинов в различных диапазонах частот.

Усилители промежуточной частоты. Усилители с распределенной и сосредоточенной избирательностью. Явления блокирования, перекрестной модуляции и интермодуляции. Усилители с расширенным динамическим диапазоном. Усилители с регулируемой полосой пропускания.

Автоматическая регулировка усиления (АРУ). Анализ работы систем АРУ в статическом и динамическом режимах. Влияние АРУ на искажения принимаемых АМ сигналов.

### ***Устройства генерирования и формирования сигналов***

Согласующие цепи. Согласование в полосе частот. Расчет предельной полосы частот согласования с помощью цепи без потерь. Решение задачи согласования в полосе частот.

Автогенераторы. Основные требования и характеристики. Полупроводниковые приборы в каскадах СВЧ передатчиков. Генераторные диоды, СВЧ транзисторы. Особенности полупроводниковых генераторов и усилителей мощности СВЧ.

Система уравнений стационарного режима автогенератора. Физический смысл уравнений стационарного режима. Условие устойчивости стационарного режима. Условия самовозбуждения. Индуктивная и емкостная трехточки. Кварцевый автогенератор.

Основы теории и расчета высокочастотных резонансных генераторов с внешним возбуждением (ГВВ). Широкополосные усилители мощности и ключевые ГВВ. Сложение мощностей в ГВВ.

Умножители частоты.

Автогенераторы (АГ) гармонических колебаний и синтезаторы сетки частот.

Формирование радиосигналов высоких частот с амплитудной, частотной и фазовой модуляциями.

Устройства генерирования колебаний сверхвысоких частот (СВЧ).

### ***Каналы электросвязи***

Частотная классификация каналов. Свойства распространения радиоволн в различных частотных каналах. Временные и спектральные характеристики помех в различных диапазонах. Энергетический баланс радиолинии.

Дискретные каналы и их основные модели: идеальный дискретный канал, симметричный канал без памяти, канал со стиранием, канал с памятью, марковский дискретный канал. Непрерывные каналы и их основные модели: канал с аддитивным гауссовым шумом, канал с неопределенной фазой сигнала, канал с замираниями, канал с межсимвольной интерференцией и аддитивным шумом.

### ***Принципы построения телекоммуникационных сетей***

Общие понятия о телекоммуникационных сетях и системах, основные термины и определения. Понятие об эталонной модели взаимодействия открытых систем. Принципы построения и структура Единой сети электросвязи Российской Федерации. Понятие о первичной и вторичных сетях связи, транспортной сети связи и абонентской сети доступа. Понятие о коммутации каналов, сообщений и пакетов, топология сетей связи. Краткая характеристика основных элементов телекоммуникационных сетей.

Структура проводных систем передачи данных. Базовые архитектуры и технологии компьютерных сетей передачи данных. стек протоколов TCP/IP. Особенности построения цифровых сетей интегрального обслуживания, интеллектуальных, локальных и корпоративных сетей связи.

Особенности построения радиосетей передачи данных. Беспроводные локальные сети стандартов IEEE 802.11. Персональные беспроводные сети стандартов Bluetooth и ZigBee. Технология сверхширокополосной связи UWB.

### ***Системы подвижной радиосвязи***

Классификация систем подвижной радиосвязи: сотовая, транкинговая, персональная спутниковая. Сотовый принцип построения сети, его преимущества. Понятие об эстафетной передаче управления и роуминге в сетях сотовой связи. Понятие об основных стандартах сотовой связи 2-го поколения. Особенности построения сетей транкинговой радиосвязи, сетей персонального радиовызова, низкоорбитальных систем спутниковой связи.

Понятие о частотно-территориальном планировании сетей подвижной радиосвязи. Сотовые сети связи GSM и UMTS. Сети беспроводного доступа UMTS и LTE. Конвергенция существующих беспроводных сетей.

### ***Оптимальные алгоритмы обнаружения и различения сигналов***

Оптимальная когерентная обработка сигналов. Алгоритм оптимальной когерентной обработки на фоне "белого" гауссового шума. Обнаружение одиночного сигнала. Обнаружение пачки сигналов. Алгоритм оптимального когерентного различения сигналов. Корреляционные устройства обнаружения и различения сигналов. Обработка с выделением низкочастотных квадратурных составляющих. Реализация устройств обнаружения и различения сигналов на основе согласованных фильтров. Сравнение с корреляционной обработкой в случаях использования простых и сложных сигналов.

Помехоустойчивость оптимального когерентного обнаружителя. Потенциальная помехоустойчивость при различении сигналов. Эффективность различных методов модуляции при поэлементном приеме в системах передачи дискретных сообщений. Противоположные сигналы. Ортогональные сигналы. Геометрическая интерпретация. Относительная фазовая манипуляция. Сигналы с непрерывной фазой. Модуляция с минимальным сдвигом частоты. Гауссова модуляция с минимальным сдвигом частоты.

Оптимальные методы обнаружения и различения сигналов на фоне коррелированных гауссовых помех.

Обнаружение и различение сигналов со случайными параметрами. Оптимальная некогерентная обработка сигналов. Алгоритм оптимального некогерентного обнаружения и его реализация. Квадратурно-корреляционная обработка. Обработка с помощью согласованных фильтров. Обработка с выделением низкочастотных квадратурных составляющих.

Рабочие характеристики оптимального обнаружителя. Оптимальная некогерентная обработка пачек импульсов. Влияние флуктуаций амплитуды импульсов.

Алгоритм оптимального некогерентного различения сигналов и его реализация. Квадратурно-корреляционная обработка. Обработка с помощью согласованных фильтров. Обработка с выделением низкочастотных квадратурных составляющих.

Выбор оптимальных сигналов. Помехоустойчивость поэлементного приема ортогональных в усиленном смысле сигналов.

Измерение параметров сигналов. Оптимальные стратегии статистического оценивания параметров сигналов. Байесовы оценки. Минимаксные оценки. Оценки по максимальному правдоподобию.

### ***Энергетическая и спектральная эффективность систем передачи дискретных сообщений***

Информационные характеристики систем передачи дискретных сообщений. Количество информации, содержащееся в сообщении. Скорость передачи информации.

Производительность источника сообщений.

Дискретный канал. Дискретный канал без шума. Основные характеристики. Теорема Шеннона для дискретного канала без шума. Кодирование источника. Дискретный канал с шумом. Основные характеристики. Теорема Шеннона для дискретного канала с шумом.

Непрерывный канал. Формула Шеннона для пропускной способности непрерывного канала. Предельные показатели эффективности. Граница Шеннона.

Многопозиционные системы передачи дискретных сообщений. Средняя вероятность ошибочного приема. Оптимальные системы сигналов. Сигналы на основе матриц Адамара. Достижение наивысшей энергетической эффективности. Сравнение с границей Шеннона.

Проблема компромисса между энергетической и спектральной эффективностью. Составные сигналы. Прием «в целом». Канальное кодирование. Блочные коды. Минимальное хэммингово расстояние. Возможность обнаружения и исправления ошибок. Эффективность помехоустойчивого кодирования. Энергетический выигрыш кодирования. Линейные блочные коды. Порождающая матрица. Проверочная матрица. Синдром. Каскадные коды. Сверточные коды. Длина кодового ограничения. Решетчатая диаграмма кодера. Понятие декодирования сверточных кодов на основе алгоритма Витерби. Понятие турбо-кодов. Понятие сигнально-кодовых конструкций.

Особенности передачи дискретных сообщений в каналах с замираниями и многолучевых каналах. Методы борьбы с межсимвольной интерференцией. Эквалайзеры. Перемежение кодовых символов. Многочастотная модуляция на ортогональных поднесущих.

Проблема достижения высокой спектральной эффективности. Методы повышения спектральной эффективности. Квадратурная фазовая модуляция. Многопозиционная фазовая модуляция. Амплитудно-фазовая модуляция.

### ***Основы технологии электронной компонентной базы***

Общая классификация компонентов приборов и устройств электроники по структуре, свойствам и техническому назначению. Классификация полупроводниковых приборов и интегральных схем.

Технологические схемы процессов изготовления полупроводниковых приборов и интегральных схем; структура комплексов технологических процессов.

Физико-технологические основы формирования эпитаксиальных слоев, многоуровневой металлизации, легирования и осаждения диэлектрических слоев.

Активные и пассивные элементы интегральных микросхем. Структура, методы получения, зависимость параметров от технологического процесса формирования.

### ***Метрология***

Общие положения и понятия метрологии. Классификация методов и средств измерений. Классификация погрешностей измерений. Виды неопределенностей и погрешностей измерений.

Оценивание случайной погрешности измерений. Законы распределения плотности вероятности случайных погрешностей. Дисперсия, среднеквадратическое отклонение. Погрешности косвенных измерений.

## ***Квантовая электроника***

Теория диэлектрических оптических волноводов. Решение уравнений Максвелла для плоских волноводов. Понятие о модах. Критерии волновода. Качественная интерпретация возникновения и основных свойств мод в оптических волноводах. Фазовые и групповые скорости. Дисперсия групповых скоростей. Природа оптических потерь в волноводах.

Нелинейные явления в оптических волноводах. Общие принципы нелинейной оптики. Эффект Керра. Оптические солитоны. Вынужденное рассеяние света (комбинационное рассеяние, вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна). Устройства квантовой электроники на основе оптических волноводов.

Теория кристаллического поля. Энергетический спектр ионов редких земель. Оптические волокна, допированные ионами редких земель. Оптические усилители на базе допированных волокон. Лазеры на основе допированных волокон. Оптические усилители и лазеры на основе вынужденного рассеяния света в волокнах. Устройства интегральной оптики.

Оптические фильтры. Теория резонаторов Фабри-Перо. Голографические фильтры. Спектральная селективность объемных голограмм. Интегральнооптические фильтры, волоконные ответвители. Применения оптических волокон. Оптические линии связи, спектральное мультиплексирование каналов. Световолоконные датчики и гироскопы.

Стандартная символика энергетических состояний атомов. Тонкая и сверхтонкая структура уровней энергии. Уровни энергии, обусловленные помещением атомов в магнитное и электрическое поле. Явление Зеемана и Штарка.

Пассивные квантовые стандарты частоты. Ширина линии магнитного резонанса. Использование V резонатора Рамзея. Структура линии поглощения в атомно лучевом стандарте частоты. Сдвиги и уширения линии поглощения. Относительная долговременная и кратковременная стабильность частоты. Дисперсия Аллана. Принцип работы водородного мазера.

Общая характеристика энергетических состояний молекул. Поглощение, спонтанное и вынужденное излучения. Коэффициенты Эйнштейна. Поглощение и усиление электромагнитного излучения веществом. Инверсия населенностей. Отрицательная температура.

Лазеры. Принцип действия оптических квантовых генераторов (лазеров). Открытые резонаторы. Типы колебаний. Условия генерации лазера. Методы создания инверсии населенностей в газовых средах. Устройство гелий-неоновых лазеров. Механизм создания инверсии населенностей в нем. Характеристики современных аргоновых лазеров. Устройство лазера на CO<sub>2</sub>. Газодинамические лазеры. Лазеры на самоограниченных переходах. Лазеры на парах металлов.

Квантовые стандарты частоты с оптической накачкой (КСЧ). Пассивные и активные КСЧ. Способ оптической накачки в КСЧ с изотопическим фильтром. Использование лазеров в КСЧ с оптической накачкой. Факторы, определяющие долговременную и кратковременную стабильность частоты КСЧ. Понятие девиации Алана. Применение КСЧ в телекоммуникационных системах связи КСЧ нового поколения с лазерной накачкой и охлаждением атомов. Образцовые меры частоты на атомном фонтане. Стандарты частоты на ионных ловушках.

Квантовые магнитометры с оптической накачкой (КМОН) Типы КМОН и их основные характеристики. Систематические погрешности КМОН и способы их минимизации. Модуляционная методика наблюдения сигнала Z магнитометров, факторы определяющие нижнюю и верхнюю границу частоты модуляции. Использование КМОН в телекоммуникационных схемах съема информации. Понятие градиентометра. Использование КМОН в магнитокардиографии.

Принципы ввода сигналов в оптическую систему обработки сигналов. Устройства ввода растрового типа, мембранный модулятор света и др. Акустооптический модулятор, как

устройство ввода. Принципы действия акустооптического спектроанализатора с пространственным интегрированием. Частотное разрешение. Многоканальный спектральный анализ. Динамический диапазон акустооптического анализатора спектра мощности. Акустооптический анализатор спектра интерференционного типа.

Принцип действия акустооптического процессора для обработки сигналов линейной и плоской антенных решеток. Методы оптической обработки сигналов, использующие свернутый спектр. Акустооптические корреляторы с пространственным и временным интегрированием. Схема формирования огибающей корреляционной функции. Анализатор спектра с временным интегрированием.

### ***Основная литература***

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. 2-е изд. – М.:Изд. Дом “Вильямс”. 2003. –1104 с.
2. Теория электрической связи: учебное пособие для вузов по направлению подгот. "Телекоммуникации" / Р. Р. Биккенин, М. Н. Чесноков. – М.: Академия, 2010. – 336 с.
3. Фомин Н.Н. , Буга Н.Н.. Радиоприемные устройства. Учебник для ВУЗов, 3- е изд., – М.: Горячая линия - Телеком, 2007. 520 с.
4. Румянцев К.Е. Прием и обработка сигналов, – М.: Академия, 2007. 528 с.
5. Павлов В.Н., Ногин И.Н Схемотехника аналоговых электронных устройств: учебное пособие для вузов / В. Н. Павлов. – М. : Академия. 2008. – 287 с.
6. Телекоммуникационные системы и сети: Учебное пособие. Том 1, 2. под ред. проф. Шувалова В.П. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003.
7. И. П. Степаненко. Основы микроэлектроники : [учебное пособие для вузов] / Изд. 2-е, [перераб. и доп.] .— Москва : Лаборатория Базовых Знаний, 2004 .— 488 с.: ил.
8. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы: учебник для вузов / Изд. 5-е, стер. — М.: Высш. шк., 2005 .— 462 с.
9. Прошин В.И. Метрология, стандартизация и сертификация. Методы обработки результатов измерений: учебное пособие для вузов / СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007 .— 138, [1] с.
10. Салех, Бахаа Е. А. Оптика и фотоника. Принципы и применения : [учебное пособие в 2 т.] / Б. Салех, М. Тейх ; пер. с англ. В. Л. Дербова .— Долгопрудный : Интеллект, 2012. Т. 1— 2012 .— 759 с.
11. Дудкин В.И. Квантовая электроника : учебник для вузов по направлению подготовки "Техническая физика" / В. И. Дудкин, Л. Н. Пахомов Санкт-Петербургский государственный политехнический университет .— Санкт-Петербург : Изд-во Политехн. ун-та, 2012 .— 494с.

### ***Дополнительная литература***

1. Сотовые системы мобильной радиосвязи: учебное пособие для вузов / В.Ю. Бабков, И.А. Цикин; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 425с.
2. Радиопередающие устройства: Учебник для вузов / В. В. Шахгильдян, В. Б. Козырев, А. А. Ляховкин и др.; Под ред. В. В. Шахгильдяна.– 4-е изд.,– М.: Радио и связь. 2003. –560 с
3. Бунтов В.Д., Макаров С.Б. Микропроцессорные системы: учебное пособие для вузов/ Ч.1: Цифровые устройства. Санкт-Петербургский политехнический университет.– СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 257 с.
4. Бунтов В.Д., Макаров С.Б. Микропроцессорные системы: учебное пособие для вузов/Ч.2: Микропроцессорные устройства. Санкт-Петербургский государственный политехнический университет.– СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 227 с.
5. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств / Г. И. Волович .— 2-е изд. — М.: Додэка-XXI, 2007 .— 527, [1] с.: ил



6. Радиопередающие устройства: Учебник для вузов / В. В. Шахгильдян, В. Б. Козырев, А. А. Ляховкин и др.; Под ред. В. В. Шахгильдяна. – 4-е изд., – М.: Радио и связь. 2003. – 560 с.
7. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: учеб. пособие для вузов /2-е изд. — М. [и др.]: Питер, 2007.— 750 с.
8. Теория электрической связи: Учебник для вузов/ Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Коржик В.И., Назаров М.В. – М.: Радио и связь, 1999.
9. Онищук А.Г., Забеньков И.И., Амелин А.М. Радиоприемные устройства. – Мн.: Новое знание, 2007.
10. Журнал технической физики: Электронный ресурс / РАН.  
: <http://www.ioffe.ru/journals/jtf/>
11. Оптика и спектроскопия / РАН. Сведения доступны в сети: <http://www.maik.ru>.
12. Прикладная оптика: учеб. пособие для вузов по направлению 200200 - Опотехника и оптическим специальностям / под ред. Н. П. Заказнова .— Изд. 2-е, стер .— СПб. [и др.] : Лань, 2007 .— 312 с.
13. Кирилловский В.К. Современные оптические исследования и измерения : учебное пособие для вузов по направлению подготовки "Опотехника" и оптическим специальностям / В. К. Кирилловский .— СПб. : Лань, 2010 .— 303 с.
14. Ермаков О. Н. Прикладная оптоэлектроника / О. Н. Ермаков .— М. : Техносфера, 2004 .— 414 с.