

Федеральное агентство по образованию

**ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)**

Кафедра сверхвысокочастотной и квантовой радиотехники
(СВЧ и КР)

В.И. Ефанов

**Оптические направляющие среды и пассивные
компоненты волоконно-оптических линий связи**

Методические указания по организации самостоятельной работы
студентов специальности 210401
«Физика и техника оптической связи»

2009

УДК 621.391.63

Рецензент:
профессор кафедры СВЧиКР Л.А. Боков.

Ефанов В. И.

Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи: методические указания к самостоятельной работе/
В.И. Ефанов. – Томск: ТУСУР, 2009. – 41 с.

Самостоятельная работа формирует важнейшие социально профессиональные компетенции студента. Целью пособия является предметно и содержательно рассмотреть все виды самостоятельной работы при изучении дисциплины «Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи».

Приводится программа курса, его цели и задачи. Каждый раздел программы заканчивается методическими указаниями со ссылкой на литературу. Представлены темы натуральных и виртуальных лабораторных занятий, а также темы практических занятий.

Представлен перечень вопросов расчетного домашнего задания и даны примеры решения контрольных работ. Дан список экзаменационных вопросов и задач с примерами их решения. Приведены условия задач по основным разделам курса и подробные решения.

Методические указания предназначены для студентов очной, заочной и дистанционной форм обучения специальности 210401 «Физика и техника оптической связи» и могут быть использованы студентами, обучающимися по направлениям «Радиотехника» и «Телекоммуникации».

УДК 621.391.63

© Ефанов В.И., 2009
© ТУСУР, 2009

Оглавление

Введение.....	4
1. Цели и задачи дисциплины.....	5
2. Содержание разделов дисциплины.....	8
2.1. Разделы лекционного курса.....	8
2.2. Разделы, вынесенные на самостоятельную работу.....	11
3. Лабораторные занятия.....	13
4. Практические занятия.....	14
4.1. Пример контрольной работы №1.....	14
4.2. Пример контрольной работы №2.....	15
5. Индивидуальные расчетные задания.....	19
6. Курсовое проектирование.....	21
7. Экзаменационные вопросы и задачи.....	22
7.1. Список экзаменационных вопросов.....	22
7.2. Структура экзаменационного билета.....	25
7.3. Типовые задачи государственного экзамена.....	28
7.4. Задачи повышенной сложности.....	29
7.5. Тестовый контроль знаний.....	32
8. Контрольные этапы и их максимальный рейтинг.....	33
9. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.....	34
Приложение А.....	36
Приложение Б.....	37
Приложение В.....	38
Приложение Г.....	40

ВВЕДЕНИЕ.

Самостоятельная работа студентов является неотъемлемой частью учебного процесса в подготовке квалифицированных специалистов, способных самостоятельно и творчески решать стоящие перед ними задачи. Самостоятельная работа - способ активного, целенаправленного приобретения студентом новых для него профессиональных знаний и умений без непосредственного участия в этом процессе преподавателей.

Особое значение самостоятельная работа имеет для студентов дистанционного, заочного и вечернего обучения. В ходе самостоятельной работы формируются важнейшие социально-профессиональные компетенции будущего специалиста.

Предметно и содержательно самостоятельная работа студентов определяется образовательным стандартом "Государственные требования к минимуму содержания и уровню подготовки выпускника по направлению 654400 «Телекоммуникации», включающего специальность 210401 - «Физика и техника оптической связи». Утверждён 10.03 2000, (Рег. № 20 тех/дс.) и рабочей программой по дисциплине «Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи (ОНС и ПК ВОЛС)», утвержденной в ТУСУРе, содержанием учебников, учебных пособий и методических руководств.

К видам самостоятельной работы относятся:

- систематическое чтение и конспектирование литературы;
- выполнение индивидуальных расчетных заданий;
- подготовка к семинарским, практическим занятиям;
- подготовка к лабораторным занятиям;
- самостоятельное углубленное изучение узловых вопросов учебной программы;
- написание рефератов по разделам спецкурса;
- изготовление презентаций по новейшим вопросам курса, недостаточно освещенным в учебной литературе;
- обработка и анализ экспериментальных данных, полученных во время экспериментов и наблюдений при выполнении НИР и ГПО;
- подбор материала и написание курсовой работы;

Преподаватель знакомит студентов с рабочей программой курса, списком литературы, методикой работы над литературой, порядком и методикой составления конспектов лекций, методических и практических занятий, написанием тезисов, докладов и рефератов, составлением презентаций.

Компетентностный подход к подготовке специалистов предусматривает эффективное взаимодействие ТУСУРа с работодателями и профессионалами. Кафедра организует консультации, приглашает студентов на обсуждение рефератов, в которых освещаются проблемные материалы, на выставки рекомендованной литературы, пропагандирует наглядные пособия, стенды, видеофильмы. В пользование студентам представляется библиографические

списки, в том числе в электронном виде, отечественные и зарубежные. Кафедра организует лекции с приглашением специалистов-практиков и посещение предприятий, владеющих современными технологиями и аппаратурой по строительству, эксплуатации и измерениям в ВОЛС.

Неумение решать вопросы самообразования порождает в студенческой среде многообразные негативные последствия: консерватизм, приспособленчество, некритический склад мышления, пассивность (познавательная, трудовая, управленческая), неумение и нежелание брать на себя полноту ответственности и т.п.

Мероприятия, создающие предпосылки и условия для реализации самостоятельной работы:

- обеспечение информационными ресурсами (справочники, учебные пособия, банки индивидуальных заданий, пакеты прикладных программ по проверке знаний);
- методические материалы (указания по выполнению лабораторных работ, руководства, практикумы, сборники задач);
- контролирующие материалы (тесты);
- материальные ресурсы (ПК, измерительное и технологическое оборудование);
- консультации преподавателей;
- возможность публичного обсуждения теоретических и/или практических результатов, полученных студентом самостоятельно (конференции, олимпиады, конкурсы);

Контролируемая самостоятельная работа направлена на углубление и закрепление знаний студентов, развитие аналитических навыков по проблематике курса.

Пособие разработано в соответствии с временными рекомендациями по организации самостоятельной работы студентов (письмо Минобразования РФ от 27.11.2002 "Об активизации самостоятельной работы студентов высших учебных заведений").

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ.

Курс "Оптические направляющие среды и пассивные компоненты" (ОНС и ПК) является одним из первых специальных дисциплин, читаемых для студентов специальности 071700 — "Физика и техника оптической связи", и является базовой для других специальных курсов.

Целью изучения дисциплины является знакомство студентов с ВОЛС являющимися в настоящее время самыми быстродействующими из всех известных систем связи, знакомство с оптическими кабелями и пассивными компонентами, используемыми для: организации городской, междугородней и международных сетей связи; гибридных оптико-коаксиальных сетей кабельного телевидения; волоконно-оптических подсистем СКС; волоконно-оптических датчиков и др.

В дисциплине излагаются принципы работы различных видов оптических волноводов, их характеристики, методы расчета, изготовления и проектирования. Рассматриваются все эксплуатационные характеристики оптических кабелей и пассивных компонентов ВОЛС (коннекторов, разветвителей, мультиплексоров, оптических коммутаторов и изоляторов).

Основные задачи изучения курса – формирование профессиональных компетенций будущих инженеров через изучение оптических направляющих сред и пассивных компонентов волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) в объеме: основы теории ОНСП; оптическое волокно (ОВ); типы ОВ и его основные характеристики; пассивные компоненты ВОЛС; разъемные и неразъемные соединители; оптические разветвители; оптические изоляторы; электромагнитные влияния на ВОЛС и меры защиты; проектирование магистральных, внутризонавых и местных ВОЛС; современные методы строительства ВОЛС; надежность ВОЛС; основы технической эксплуатации ВОЛС.

Формирование социально-профессиональных компетенций в ходе изучения дисциплины

В ходе самостоятельного решения учебных задач формируются важнейшие социально-профессиональные компетенции будущего специалиста: умение работать с информацией, принимать решения, планировать свою деятельность, осуществлять необходимые социальные взаимодействия,

В рамках личностного блока единой социально-профессиональной компетентности у студентов формируются такие качества, как ответственность, самостоятельность, организованность, целенаправленность, социальная адаптивность и способность к решению нестандартных задач (креативность). В рамках социального блока развиваются информационно-технологическая компетенция, а также коммуникативная и компетенция социального взаимодействия. Особое внимание уделяется развитию собственно профессиональных компетенций. Профессиональный блок включает развитие у студентов умений адекватно решать производственно-технические, расчетно-проектные, экспериментально-исследовательские и эксплуатационные задачи в области ВОЛС.

В результате самостоятельной работы по дисциплине у студентов формируется структура профессиональной компетентности, включающая знания, опыт их применения (умения и навыки) и ценностно-смысловое отношение к будущей профессиональной деятельности. По итогам освоения курса и выполнения самостоятельной работы, студент должен:

- **иметь** представление о наиболее перспективных направлениях развития ВОЛС и применяемых в них компонентах; **знать** современные тенденции развития оптических линий связи, конструкции и характеристики направляющих оптических систем и пассивных компонентов, основы технической эксплуатации линейных сооружений связи;

- **уметь** использовать полученные знания для расчета основных технических характеристик ВОЛС и их проектирования с учетом требований быстродействия, надежности, технологичности и удобства технической

эксплуатации; **приобрести навыки** работы с оптическим волокном, методами его монтажа. Иметь опыт работы с приборами и аппаратурой по настройке и испытанию ОК;

- **сформировать** позитивное ценностно-смысловое отношение к использованию ВОЛС в телекоммуникациях.

Объем дисциплины и виды учебной работы.

Вид обучения	Очное	Заочное
Вид учебной работы	Всего часов	
Общая трудоемкость дисциплины	187	108
Лекции	58	22
Лабораторные занятия	18	12
Практические занятия	16	8
Курсовой проект	16	4
Самостоятельная работа	79	62
Вид итогового контроля		
6 семестр	Зачет Экзамен	Зачет Экзамен
7 семестр		
8 семестр		
10 семестр		

2. СОДЕРЖАНИЕ РАЗДЕЛОВ ДИСЦИПЛИНЫ.

2.1. Разделы лекционного курса.

2.1.1. Основные характеристики направляющих сред электросвязи.

Введение.

Предмет и задачи курса. Краткий обзор истории развития ВОЛС. Место и роль оптических направляющих сред передачи (ОНСП) в современных системах связи. Мировой уровень развития оптической связи. Существующие и строящиеся ВОЛС в России и за рубежом. Содержание и последовательность изучения курса, связь с другими дисциплинами, место курса в общей подготовке по настоящей специальности. Рекомендуемая литература.

Достоинства ВОЛС в ряду других направляющих сред.

Классификация линий связи. Сравнительная оценка средств передачи информации с использованием электрических направляющих систем и ВОЛС. Основные характеристики симметричных кабелей, витой пары, коаксиального кабеля. Области применения каждого. Техничко-экономическое сравнение направляющих систем.

Методические указания. Нужно четко представлять основные технические характеристики электрических кабелей связи их недостатки и достоинства в сравнении с ВОЛС.

Материалы надо изучать, используя [1, 2, 7, 16].

2.1.2. Структура волоконно-оптической линии связи.

Общие принципы построения сетей связи ВСС. Первичная и вторичная сеть. Магистральная и зонавая связь. ВОЛС как совокупность пассивных и активных технических устройств: оптические передатчики (лазеры и светодиоды) и оптические приемники (фотодиоды), согласующее устройство - назначение и основные характеристики. Аналоговые и цифровые ВОЛС. Сопоставительный анализ. Основные технические характеристики существующих систем цифровой связи использующих оптический кабель.

Методические указания. Этот вопрос хорошо изложен в [9, 11, 16].

2.1.3 Основы теории ОНСП.

Классификация оптических волноводов (ОВ).

Принцип работы и физические процессы в ОВ. Основные положения многомодовой и одномодовой лучевой оптики при распространении света по ОВ. Оптические волокна и их характеристики. Геометрические параметры ОВ. Профиль показателя преломления. Ступенчатое и градиентное ОВ. Числовая апертура.

Основные положения волновой теории ОВ.

Волновое уравнение электромагнитного поля для ступенчатого волновода. Дисперсионное уравнение. Характеристики распространения и типы направляемых мод. Критическая частота. Определение числа мод. Фазовая и групповая скорости. Волновое сопротивление. Моды сердцевин, оболочки и моды утечки. Распределение энергии между сердечником и оболочкой. Особенности распространения в многомодовых градиентных и одномодовых ОВ.

Затухание сигналов в ОВ.

Потери в материале в ОВ, поглощение и рассеяние. Окна прозрачности и диапазон длин волн. Три вида поглощения: собственное поглощение, примесное, обусловленное дефектами атомарной структуры. Рассеяние: Релея, Ми, нелинейное рассеяние. Потери в неоднородностях. Кабельные потери. Затухание за счет макро- и микроизгибов. Радиационная стойкость, как фактор потерь.

Дисперсия и полоса пропускания ОВ.

Виды дисперсии. Межмодовая, материальная, и внутримодовая (волноводная) дисперсия. Поляризационная модовая дисперсия. Расчёт дисперсии одномодовых и многомодовых световодов. Влияние дисперсии на передачу сигналов по ОВ. Переходные и частотные характеристики одномодовых и многомодовых световодов. Пропускная способность ОВ.

Оптические характеристики одномодовых ОВ.

Основные типы и области применения одномодовых ОВ. Геометрические параметры, диаметр модового поля.

Затухание и хроматическая дисперсия одномодового ОВ. Международные стандарты ITU-T, рек. G.652., G.655. Дисперсионные характеристики. Коэффициент наклона и длина волны нулевой дисперсии. Методы компенсации дисперсии.

Нелинейные эффекты в ОВ. Комбинационное (рамоновское рассеяние). Фазовая саморегуляция. Четырехволновое смешение. Рассеяние Мандельштама-Бриллюэна. ОВ с большой площадью модового поля. Специальные типы одномодовых волокон.

Методические указания. Это очень важный для усвоения последующих разделов курса материал. Нужно понять физику и математическую основу описания процессов передачи света по ОВ. Материал можно изучать, используя [2, 7, 14, 18].

2.1.4. Конструкции и характеристики ОНСП.

Устройства ввода излучения.

Возбуждение оптического волокна. Источники излучения. Прохождение через торец. Возбуждение коллимированным пучком. Устройства ввода излучения. Возбуждение с помощью линзы. Эффективность ввода света в ОВ. Чувствительность устройства к механическим рассогласованиям.

Разъёмные и неразъёмные соединения.

Соединение и сращивание ОВ. Требования к соединителям. Потери, связанные с Френеллевским отражением. Характеристики сращиваний и соединений. Соединение плавлением. Механическое соединение. Типы коннекторов. Эффект смещения сопрягаемых ОВ (радиальное, осевое, угловое смещение). Потери за счет различия числовых апертур и диаметра сердечника их неконцентричности и эллиптичности. Соединительные и монтажные шнуры, переходные розетки. Техника безопасности при работе с ОВ.

Методические указания. Устройства ввода – в [12], коннекторы – в [7, 11, 12].

2.1.5. Конструкции и характеристики оптических кабелей связи.

Оптические кабели.

Магистральные, зоновые, городские и объектовые кабели связи. Система обозначений и маркировки отечественных и зарубежных ОК. Основные компоненты ОК. Методы изготовления ОК. Силовая и внешняя оболочка, конструкция сердечника, броня. Область применения, конструкция, механические и электрические характеристики кабелей для: прокладки в землю; подвески на опорах; прокладки под водой и внутри помещений. Механические параметры: масса; разрывная прочность; раздавливающие усилие; стойкость к изгибам [23, 24, 26].

2.1.6. Конструкции и характеристики пассивных компонентов ВОЛС. Распределение сигналов в ВОЛС.

Общие вопросы распределение сигналов в ВОЛС. Типы распределителей оптического излучения. Из теории многополюсников волновые матрицы. Определение функциональных параметров (Рек. G.671). Основные параметры распределителей оптического излучения.

Неселективные оптические разветвители.

Разветвители с взаимодействием через боковые поверхности. Разветвители на основе одномодовых ОВ. Интегральный разветвитель.

Спектральные распределители оптического излучения.

Назначение, преимущество и недостатки WDM-систем. Система параметров и требования к ним. Принцип работы и основы WDM-систем. Виды дисперсионных элементов. Устройства на интерференционных фильтрах, дифракционных решётках.

Оптические аттенюаторы, изоляторы, циркуляторы.

Конструктивные принципы создания аттенюаторов. Рабочие характеристики и области применения ступенчатые и плавные аттенюаторы. Оптические изоляторы и циркуляторы.

Оптические переключатели (коммутаторы).

Типы переключающих устройств. Системы параметров оптических переключателей. Механические и оптоэлектронные переключатели. Оптические переключатели. Методы изготовления правила проектирования.

Методические указания.

Необходимо понять физику процессов передачи света в пассивных компонентах ОВ.

Обратить внимание на основные технические характеристики устройств распределения сигналов. Основная и дополнительная литература [7, 11, 18, 20, 21, 22].

2.1.7. Проектирование магистральных и зоновых ОНСП.

Общие положения по составлению проекта. Выбор типа ОВ и ОК скорости передачи. Выбор трассы. Расчет длины элементарного кабельного участка. Энергетический потенциал. Расстановка регенерационных пунктов. Технико-экономический анализ.

Методические указания. Материал можно найти в [6, 9].

2.2. Разделы, вынесенные на самостоятельную работу.

Атмосферные оптические линии связи.

Структурная схема лазерной системы связи. Основное уравнение линии связи. Достоинства и недостатки открытых лазерных систем связи, области применения. Особенности открытых каналов оптической связи. Расчетные и экспериментальные данные о затухании и рассеянии лазерного излучения в атмосфере. Влияние турбулентности на распространение оптических сигналов. Оптико-электронные системы с открытым оптическим каналом.

Методические указания. Вопросы распространения оптических сигналов в открытых линиях можно изучить, пользуясь [13]. Технические характеристики современных лазерных систем связи – в рекламных проспектах фирм-производителей и периодической печати [9, 21, 22].

Технология изготовления и материалы ОВ.

Основные классы материалов для изготовления ОВ. Основные группы технологических процессов изготовления ОВ. Вытягивание оптического волокна из расплавов.

Метод химического осаждения из газовой фазы. Метод двойного тигля. Механическая прочность ОВ. Остаточная и динамическая деформация. Радиус изгиба. Воздействие воды, влаги и водорода. Защита ОВ.

Методические указания. Достаточно подробно эти вопросы изложены в [20, 23], а также в журналах Light Wave [21, 22].

Коммутационно-распределительные устройства.

Монтаж кабелей. Назначения кабельных муфт и организаторов. Сращивание ОК в соединительных муфтах. Промежуточные муфты. Коммутационные полки. Распределительные шкафы, коробки, панели для ОК. Настенные розетки. Испытания механические–климатические. Принадлежности для тестирования.

Методические указания.

Необходимо знать перечень технических характеристик ОК, влияющих на передачу сигналов в ВОЛС, конструкцию и номенклатуру ОК. иметь представление о кабельной арматуре – муфты, кроссовое оборудование. [23, 24, 26, 27].

Влияние внешних электромагнитных полей на ВОЛС и меры защиты.

Общая характеристика факторов влияния на оптические линии связи (оптические кабели, муфты). Проблема электромагнитной совместимости в оптических кабелях с металлическими элементами. Виды и классификация внешних электромагнитных воздействий. Влияние атмосферного электричества. Влияние линий электропередачи. Влияние электрифицированных железных дорог.

Меры защиты волоконно-оптических линий связи (на основе оптических кабелей с металлическими элементами) от опасных электромагнитных влияний.

Влияние внешних факторов (температура, механические усилия, влажность, ионизирующее излучение) на передаточные и прочностные

параметры оптических кабелей. Меры защиты [23].

Строительство ВОЛС.

Организация и особенности строительства ВОЛС. Подготовительные работы по строительству ВОЛС. Проведение входного контроля и группирование строительных длин ОК. Прокладка ОК в телефонной канализации. Прокладка ОК в грунт. Прокладка ОК через водные преграды. Подвеска кабелей. Монтаж ВОЛС. Сращивание оптических волокон. Конструкции муфт и особенности их монтажа. Оборудование вводов ВОЛС.

Методические указания. Элементы строительства ВОЛС можно увидеть на диске с видеоматериалами [6, 21, 22].

Основы технической эксплуатации ВОЛС.

Организация эксплуатационного оборудования линий связи. Периодичность осмотров и профилактических проверок линейных сооружений. Измерения на линиях связи. Периодичность измерений ВОЛС. Определение места и характера повреждений ВОЛС путем измерений. Сущность и проблема надежности кабельных линий связи. Основные понятия, параметры надежности. Основные факторы влияющие на надежность работы кабельных линий связи. Расчет показателей надежности ВОЛС. Пути повышения эксплуатационной надежности ВОЛС.

Методические указания. Вопросы влияния и защиты ОК от внешних полей описаны в [23]. Здесь же подробно изложены вопросы строительства ВОЛС. Техническая эксплуатация ВОЛС – в [21, 22, 23, 24], надежность ВОЛС – [7].

Формой отчетности по разделам самостоятельной работы (п. 2.2) является реферат, реферат-доклад или презентация [25]. Объем реферата от 10 до 25 печатных страниц. Рекомендации по составлению реферата даны в Приложении В, а рекомендации по оформлению слайдов презентаций - в Приложении Г.

При оценке вашего труда преподавателя интересует:

- соответствие содержания выбранной теме;
- глубина проработки материала;
- правильность и полнота использования источников;
- оформление реферата.

3. ЛАБОРАТОРНЫЕ ЗАНЯТИЯ.

Основными целями проведения и выполнения лабораторной работы являются [4]:

- углубленное освоение студентами теоретических положений изучаемой дисциплины «ОНС и ПК ВОЛС»;
- изучение особенностей строения, состояния, поведения и функционирования волоконно-оптических устройств;
- освоение приемов, методов и способов выявления, наблюдения, измерения и контроля ВОЛС;
- усвоение приемов, методов и способов обработки, представления и интерпретации результатов проведенных исследований.

При выполнении лабораторной работы студент должен продемонстрировать:

- владение соответствующим понятийным и терминологическим аппаратом;
- знакомство с учебно-методической и дополнительной литературой по заданной теме;

Список натуральных лабораторных работ:

1. Исследование оптических и конструктивных параметров ОВ и ОК;
2. Измерение затухания в ОВ и потерь на макроизгибах;
3. Измерение потерь на стыках и разъемных соединениях ОВ и ОК;
4. Исследование эффективности ввода оптического излучения в ОВ;
5. Исследование дисперсионных характеристик ОВ;
6. Работа по технологии сварки, монтажа и разделки ОВ и разъемных соединений с ОВ.

Продолжительность каждой работы 4 ч.

Для студентов заочной и дистанционной формы обучения могут быть предложен лабораторный практикум из шести компьютерных работ.

Список виртуальных лабораторных работ:

1. Атмосферные оптические ЛС (АОЛС);
2. Ввод излучения в ОВ;
3. Дисперсия в многомодовых ОВ (МОВ);
4. Дисперсия в одномодовых ОВ (ООВ);
5. Затухание света в ОВ;
6. Расчет регенерационного участка.

Методические указания к виртуальным лабораторным работам представлены в локальной сети кафедры СВЧМКР в разделе с методическими материалами профессора В.И. Ефанова.

4. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ.

Решение задач способствует развитию навыков практического применения полученных теоретических знаний, а также позволяет глубже понять физическую сущность процессов и явлений в оптических волокнах, закрепить в памяти основные формулы, значения и порядок величин важнейших параметров ОВ [3, 7, 8].

Темы практических занятий:

1. Расчет характеристик планарного волновода.
2. Затухание сигналов в ОВ.
3. Дисперсия и полоса пропускания ОВ.
4. Расчет характеристик многомодового ОВ.
5. Расчет характеристик одномодового ОВ.
6. Расчет пассивных компонентов ВОЛС.
7. Контрольная работа №1 «Характеристики одномодовых и многомодовых ОВ».
8. Контрольная работа №2 «Расчет длины элементарного кабельного участка».

Ниже приведен подробный анализ решения задач, способствующий более глубокому осмыслению студентом изучаемых вопросов и расчета ВОЛС.

4.1. Пример контрольной работы №1.

Цель контрольной работы: проверка знаний основных характеристик ОВ, их размерности и взаимосвязи. Ниже представлен демонстрационный вариант.

ОНС и ПК ВОЛС		каф. СВЧиКР ТУСУР
Билет №1		
<p>1. Что такое числовая апертура ОВ? На что она влияет и от чего зависит?</p> <p>2. Назовите окна прозрачности (λ) для ОВ, каково их главное отличие по важнейшим характеристикам.</p> <p>3. Каковы составляющие хроматической дисперсии и какова величина коэффициента удельной дисперсии для 2-го и 3-го окон прозрачности?</p>	<p>4. Дайте определение полосы пропускания и коэффициента широкополосности многомодовых ОВ. Какова их величина?</p> <p>5. От чего зависит эффективность ввода света в ОВ?</p> <p>6. Какие характеристики нормируются стандартами ITU – T Rec. G.652 и каково их численное значение?</p>	
Задачи		
<p>1. Рассчитать $\tau_{хр}$, при $M(\lambda) = -10$ пс/км*нм; $B(\lambda) = 20$ пс/км*нм, $\Delta\lambda = 0.1$ нм; $L = 1$ км</p> <p>2. Определить, какому типу ОВ соответствует числовая апертура при $n_1 = 1.47$; $\Delta = 0.01$.</p>	<p>3. Определить возможность работы ОВ при $NA = 0.2$ и $\lambda = 0.8$ мкм, $d = 40$ мкм в одномодовом режиме</p> <p>4. Определить затухание света в ОВ, обусловленное рэлеевским рассеянием, в третьем окне прозрачности при $C = 0,7$ (мкм⁴*дБ)/км</p>	

Примеры решения задач билета №1:

1. Определим τ_{xp} по формуле:

$$\tau_{xp} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L = (M(\lambda) + B(\lambda)) \cdot \Delta\lambda \cdot L$$

$$\tau_{xp} = (-10+20) \text{ пс/км} \cdot \text{нм} \cdot 0.1 \text{ нм} \cdot 1 \text{ км} = 1 \text{ (пс)}$$

2. Определим значение числовой апертуры. Воспользуемся формулой:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} = 1.47 \cdot \sqrt{2 \cdot 0.01} \approx 0.21$$

Числовая апертура $NA = 0.21$ соответствует многомодовому ОВ, т.к. для МОВ $NA=0.2 \div 0.3$.

3. ОВ работает в одномодовом режиме при условии, что нормированная частота $V \leq 2.405$. Определим значение нормированной частоты.

$$V = \frac{\pi \cdot d}{\lambda} \cdot NA = \frac{3.14 \cdot 40 \text{ мкм}}{0.8 \text{ мкм}} \cdot 0.2 = 31.4$$

Т.к. $V = 31.4 > 2.405$, то можно сделать вывод о том, что заданное ОВ не будет работать в одномодовом режиме.

4. Затухание света в ОВ, в первую очередь, обусловлено рэлеевским рассеянием, которое определим по формуле:

$$\alpha_{рас} = \frac{C}{\lambda^4}$$

В третьем окне прозрачности центральная длина волны $\lambda = 1,55$ мкм. Следовательно:

$$\alpha_{рас} = \frac{0.7 \left(\text{мкм}^4 \cdot \text{дБ} \right) / \text{км}}{1.55^4 \text{ мкм}^4} = 0.12 \left(\text{дБ} / \text{км} \right)$$

4.2. Пример контрольной работы №2.

Целью контрольной работы является освоение студентом системы единиц измерения, применяемых в ВОЛС, расчет элементарного кабельного участка LAN на основе МОВ и длины регенерационного участка на основе ООВ.

Задача №1.

Определить длину элементарного кабельного участка, реализованного на МОВ (рекомендация G.651) в первом (780...860 нм) и втором (1280...1320 нм) окнах прозрачности, и величину требуемого энергетического потенциала в обоих случаях.

Типовые параметры ВОЛС	Единицы измерения	Значения
Диаметр сердцевины / оболочки	мкм	50 / 125
Показатель преломления сердцевины, n_1		1,46
Рабочая длина волны, λ_1	нм	820
Рабочая длина волны, λ_2	нм	1310
Профиль показателя преломления		Градиентное
Коэффициент затухания, α_1	дБ/км	2,5
Коэффициент затухания, α_2	дБ/км	0,7
Числовая апертура, NA		0,22
Скорость передачи цифрового потока, В	Гбит/с	10
Энергетический запас, Э	дБ	2
$N_{PC}=4, \alpha_{PC}=0,4$ дБ		

Длина элементарного кабельного участка для локальной сети ограничена дисперсией, определим её по формуле:

$$L_B = \frac{\Delta F}{B},$$

где ΔF - коэффициент широкополосности многомодового ОВ рассчитывается как

$$\Delta F = \frac{0.44}{\tau_{меж}},$$

где $\tau_{меж}$ -коэффициент межмодовой дисперсии.

Для МОВ с градиентным профилем показателя преломления:

$$\tau_{меж} = \frac{n_1 \Delta^2}{2c}.$$

Неизвестное значение относительной разности показателей преломления Δ найдем из выражения для числовой апертуры:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta}.$$

$$\text{Откуда } \Delta = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{NA}{n_1} \right)^2 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{0.22}{1.46} \right)^2 = 0.011,$$

$$\text{И } \tau_{меж} = \frac{n_1 \Delta^2}{2c} = \frac{1.46 \cdot 0.011^2}{2 \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ (м/с)}} = 0.29 \text{ (нс / км)}$$

Рассчитаем коэффициент широкополосности:

$$\Delta F = \frac{0.44}{0.29 \cdot 10^{-9}} = 1.52 \cdot 10^9 \text{ (Гц * км)} = 1.52 \text{ (ГГц * км)}$$

И определим длину элементарного кабельного участка:

$$L_B = \frac{1.52 (\text{ГГц} \cdot \text{км})}{10 (\text{ГГц})} = 0.152 (\text{км}) = 152 (\text{м})$$

Полученный результат соответствует длинам горизонтальной проводки волоконно-оптических подсистем СКС.

2. Определим величину требуемого энергетического потенциала в первом и втором окнах прозрачности, который обусловлен затуханием света в МОВ и потерями в разъемных соединениях.

$$\mathcal{E} = M + \alpha \cdot L_B + \alpha_{pc} \cdot N_{pc}$$

Таким образом, энергетический потенциал в первом и втором окнах прозрачности равен:

$$\mathcal{E}_1 = 2 \text{ дБ} + 2.5 \text{ дБ} / \text{км} \cdot 0.152 \text{ км} + 0.4 \text{ дБ} \cdot 4 = 4 \text{ (дБ)}$$

$$\mathcal{E}_2 = 2 \text{ дБ} + 0.7 \text{ дБ} / \text{км} \cdot 0.152 \text{ км} + 0.4 \text{ дБ} \cdot 4 = 3.7 \text{ (дБ)}$$

Задача №2.

Определить длину регенерационного участка магистральной ВОЛС.

Типовые параметры ВОЛС	Ед. изм.	Значения
Тип ОВ		SMF
Рекомендация ИТУ-Т		(G.652)
Диапазон длин волн	нм	1260 ... 1320
Коэффициент затухания, α	дБ/км	0,35
Коэффициент удельной хроматической дисперсии, $D(\lambda)$	пс/нм·км	3,5
Скорость передачи, В	Мбит/с	250
Рабочая длина волны, λ	нм	1320
Ширина спектра излучения источника, $\Delta\lambda$	нм	4
Мощность излучения передатчика, $P_{пер}$	дБм	2
Чувствительность приемника, $P_{пр}$	дБм	-34
Энергетический запас, \mathcal{E}	дБ	3
Средняя строительная длина, $L_{стр}$	км	2,2
Число разъемных соединений, N_{pc}		2
Затухание разъемного соединения, α_{pc}	дБ	0,2
Затухание неразъемного соединения, α_{nc}	дБ	0,05

Длина регенерационного участка магистральной ВОЛС ограничена затуханием и дисперсией, при этом из двух значений выбирается меньшее.

1. Определим длину регенерационного участка, ограниченную затуханием по формуле:

$$L_{\alpha} = \frac{\mathcal{E} - M - N_{pc} \cdot \alpha_{pc}}{\alpha + \frac{\alpha_{nc}}{L_{cmp}}},$$

где \mathcal{E} – энергетический потенциал рассчитывается как

$$\mathcal{E} = P_{пер} - P_{пр} = 2 \text{ дБ} - (-34 \text{ дБ}) = 36 \text{ (дБ)}.$$

Пусть M - энергетический запас составляет 3 дБ, тогда длина регенерационного участка составит:

$$L_{\alpha} = \frac{36 - 3 - 2 \cdot 0.2}{0.35 + \frac{0.05}{2.2}} = 87.5 \text{ (км)}$$

2. Рассчитаем длину регенерационного участка, ограниченную дисперсией по формуле:

$$L_B = \frac{0,44}{D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot B} = \frac{0,44}{3.5 \text{ пс/нм} \cdot \text{км} * 4 \text{ нм} * 250 \text{ Мбит/с}} = 125.7 \text{ (км)}$$

Таким образом, длина регенерационного участка магистральной ВОЛС равна 87,5 км.

5. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ЗАДАНИЯ

Индивидуальное расчетное задание - это форма проверки знаний по отдельным вопросам курса ОНС и ПК ВОЛС, своего рода контрольная работа. В данном разделе мы имеем в виду те контрольные работы, которые даются студентам как домашние задания.

При написании контрольной работы удобнее всего пользоваться рекомендованными преподавателем учебниками и конспектами лекций, так как вопросы контрольной составляются на основе стандартной программы курса обучения.

Индивидуальное задание еще не предполагает навыков исследовательского умения, ответы на вопросы должны демонстрировать добротное знание и понимание существа рассматриваемых вопросов. Задание дает возможность оценить порядок и уяснить физический смысл важных величин в ВОЛС.

Особое значение расчетное задание приобретает для студентов дистанционного образования и заочной формы обучения, так как требует сосредоточенной работы над вопросами изучаемого курса, что помогает включиться в круг проблем данной дисциплины.

Материал для выполнения расчетного задания достаточно подробно изложен в [1, 2, 3, 7].

1. Расчетное задание №1. Расчет характеристик планарного волновода (для студентов очной формы обучения)

1. Расчет числовой апертуры
2. Расчет нормированной частоты
3. Расчет критического угла скольжения и лучевого инварианта
4. Расчет длины пути между последовательными отражениями луча, оптической длины пути, полупериода траектории луча
5. Расчет количества отражений на единицу длины волновода, времени прохождения лучом 1 м
6. длины волновода
7. Расчет лучевой дисперсии, пространственного уширения импульса
8. Расчет максимальной толщины волноводного слоя, при которой соблюдается одномодовый режим
9. Изобразить графически профиль показателя преломления при заданном q
10. Изобразить (на одном графике) зависимость времени прохождения от лучевого инварианта для ступенчатого и градиентного волноводов

2. Расчетное задание №2. Расчет характеристик многомодового оптического волокна.

1. Используя формулу Селмейера (см. Приложение Б), построить график зависимости $n_1(\lambda)$
2. Расчет показателя преломления сердцевины, оболочки
3. Расчет числовой апертуры

4. Расчет нормированной частоты при заданном d
5. Определить, выйдет ли ОВ из одномодового режима при наличии погрешности изготовления диаметра сердцевины
6. Определить критическую длину волны при полученном d
7. Расчет максимального диаметра сердцевины, при котором соблюдается одномодовый режим
8. Построить график (нормированный) распределения энергии по сечению ОВ
9. Расчет эффективного диаметра поля моды (по трем выражениям)
10. Расчет коэффициента затухания
11. Рассчитать значения $M(\lambda)$, $B(\lambda)$ и $D(\lambda)$ на заданных λ_1 и λ_2 . Построить графики зависимостей
12. Определить длину волны нулевой дисперсии
13. Вычислить наклон дисперсии
14. Расчет уширения импульсов
15. Расчет полосы пропускания
16. Расчет потерь на макро- и микроизгибах при изменении R от 1 до 10 см, $h=0.1d$. Построить графики
17. Расчет потерь на стыках разъемных соединений. Построить графики

3. Расчетное задание №3. Расчет характеристик одномодового оптического волокна

1. Рассчитать показатели преломления сердцевины, оболочки для заданных λ_1 и λ_2
2. Расчет числовой апертуры
3. Расчет нормированной частоты и критической длины волны
4. Расчет максимального диаметра сердцевины, при котором соблюдается одномодовый режим
5. Определить, выйдет ли ОВ из одномодового режима при наличии погрешности изготовления диаметра сердцевины
6. Расчет эффективного диаметра поля моды и эффективной площади сечения
7. Построить график (нормированный) распределения энергии по сечению ОВ
8. Расчет коэффициента затухания на λ_1 и λ_2
9. Рассчитать коэффициенты материальной, волноводной и хроматической дисперсии
10. Определить длину волны нулевой дисперсии и вычислить наклон дисперсии в этой точке
11. Рассчитать минимальный уровень мощности, приводящий к нелинейным эффектам
12. Построить графики зависимости потерь от величины смещения на стыках разъемных соединений.

6. КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ.

Курсовая работа - это первое самостоятельное исследование студента, оформленное по форме научного отчета. Курсовая работа является обязательной частью учебного плана.

Курсовой проект выполняется на основе индивидуального технического задания (ТЗ). По желанию студента проект может быть выполнен по реальной тематике. Задание выдается на первой неделе 8 семестра; сдача готового проекта на проверку – на 14 неделе.

Проект предусматривает проектирование волоконно-оптической линии связи (магистральной, зонной, городской). Отчетность в течение семестра – еженедельная. Еженедельно студент представляет для проверки результаты расчетов и обоснование выбранных решений.

Объем пояснительной записки – 30-40 л. формата А4.

Поощряется ритмичная работа в течение семестра и рациональное применение средств вычислительной техники и программных продуктов.

Остальные требования к структуре и оформлению проекта – по ОС ТУСУР 6.1.97.

Курсовые работы сдаются в строго определенный день в течение 3-4 часов, причем дата проставляется на титульном листе работы, после указанной даты работы не принимаются.

В методических указаниях [5, 9] по курсовому проектированию подробно рассмотрено содержание, этапы выполнения и даны расчетные соотношения.

7. Экзаменационные вопросы и задачи.

Подготовка к экзаменам содействует систематизации, обобщению и закреплению знаний, устранению пробелов, возникающих в процессе учебных занятий, и должна вестись в течение всего семестра.

Организация самостоятельной работы в семестре является залогом успешной сдачи зачетов и экзаменов.

7.1. Список экзаменационных вопросов

Раздел I – Оптическое волокно (ОВ).

1. Дайте полную классификацию ОВ, численные значения передаточных характеристик.
2. Назовите все виды дисперсии, имеющие место в ОВ. Сравните дисперсию одномодовых и многомодовых ОВ.
3. В чем достоинства и недостатки одномодовых ОВ? Назовите типичные значения их передаточных характеристик для G.652
4. Какие стандарты ОВ наиболее широко используются в ВОЛС в настоящее время? Дайте численные значения их основных передаточных характеристик. Какова их область применения?
5. От чего зависят собственные потери в ОВ и потери в ОК?
6. Вследствие чего возникает поляризационная межмодовая дисперсия? В каких ОВ она появляется, к чему она приводит и как она рассчитывается?
7. Назовите «области прозрачности» кварцевых ОВ и приведите типичные численные значения потерь в каждом.
8. Перечислите на какие параметры ОВ влияет относительная разность показателей преломления сердцевинки и оболочки. Каково его среднее значение для различных типов ОВ?
9. Из каких составляющих состоит хроматическая дисперсия? Коэффициент удельной дисперсии. Какой составляющей можно менять знак и что из этого следует?
10. Дайте определение дисперсии. Какие виды дисперсии вы знаете? В каких типах ОВ преобладают те или иные виды? В чем измеряется дисперсия?
11. Как связан коэффициент широкополосности с различным ППП? Каково его численное значение для разных ППП?
12. От какого параметра ОВ зависит величина эффективности ввода излучения? Каково ее значение для ООВ и МОВ?
13. Дайте определение межмодовой дисперсии. От каких параметров зависит величина межмодовой дисперсии в ОВ со ступенчатым и градиентным ППП?
14. Дайте определение нормированной частоты. Каково ее значение в случае ООВ и МОВ?
15. От чего зависит числовая апертура? На какие параметры ВОЛС влияет числовая апертура ОВ и каковы ее численные значения для ООВ и МОВ?
16. Перечислите геометрические и механические характеристики МОВ. Дайте их численное значение.

17. Дайте определение дисперсии. Какими методами и способами получают ОВ со смещенной или сглаженной дисперсией? Каким рекомендациям они соответствуют? В каких случаях используется?
18. Перечислите окна прозрачности кварцевых ОВ, величину затухания в них и интервалы длин волн соответствующие им.
19. Какими физическими процессами обусловлены потери световой мощности в ОВ?
20. От чего зависит межмодовая дисперсия в МОВ? Где она больше: в ОВ со ступенчатым ППП или параболическим ППП? Область применения МОВ.
21. Каковы основные преимущества использования оптических волокон в системах связи?
22. Чем определяется число направляемых мод в ступенчатом и градиентном МОВ? От чего оно зависит?

Раздел II – Оптические кабели (ОК)

1. Опишите основные типы конструкции ОК.
2. Какие марки кабелей предназначены для подземной прокладки?
3. От чего зависят суммарные потери элементарного кабельного участка?
4. Опишите принципы маркировки.
5. Какие марки кабелей предназначены для подвесных ОК.
6. Перечислите основные компоненты ОК.
7. Технические требования к оптическим кабелям связи.
8. Кабели для наружной прокладки. Какие марки кабелей предназначены для прокладки в грунт?
9. Перечислите достоинства и недостатки ОК по сравнению с электрическими линиями связи.
10. От каких параметров зависит длина регенерационного участка? Назовите методы увеличения длины регенерационного участка.
11. Кабели для воздушной подвески. Какие марки кабелей предназначены для подвески?
12. Перечислите основные конструктивные элементы ОК. Что относится к специальным кабелям?
13. Дайте классификацию оптических кабелей по конструкции.
14. Перечислите типы распределителей оптического излучения (РОИ) и приведите их основные параметры.
15. Дайте определение энергетического потенциала ВОЛС. От чего он зависит и каково его значение для магистральных, зонных линий связи?
16. Каковы методы изготовления ОВ?
17. Дайте классификацию оптических кабелей по назначению.
18. Виды прокладки ОК при строительстве ВОЛС.
19. Перечислите основные компоненты ОК. Какие марки кабелей предназначены для прокладки в кабельной канализации?
20. Для чего на оптическое волокно наносят полимерное покрытие?

21. Назовите методы увеличения длины регенерационного участка.
22. Чем ограничена длина регенерационного участка и каковы методы увеличения пропускной способности регенерационного участка?

Раздел III – Пассивные компоненты (ПК)

1. Назовите типы оптических коммутаторов. Опишите принцип работы оптического коммутатора.
2. Принцип работы оптического изолятора. Каково его назначение?
3. Назовите виды и характеристики ответвителей, приведите типовые значения их параметров.
4. Назовите типы торцевых разветвителей с оптическими элементами и нарисуйте схемы их построения.
5. Назначение и классификация соединительных муфт.
6. Перечислите все известные вам виды пассивных компонентов ВОЛС и их основные характеристики.
7. Каково назначение WDM устройств, каковы их основные параметры и перечислите физические явления, используемые в них.
8. Дайте сравнительный анализ различных типов оптических переключателей (коммутаторов) и приведите их параметры.
9. Перечислите методы соединения ОВ, проанализируйте их достоинства и недостатки с указанием среднего значения потерь.
10. Как влияет диаметр модового поля на параметры WDM устройств и как зависит от длины волны?
11. Каковы требования к оптическим разъемным соединителям (коннекторам)? Причины возникновения в них потерь.
12. Какие типы неразъемных оптических соединителей вы знаете? Где применяются разъемные и неразъемные соединения?
13. Перечислите достоинства и недостатки WDM устройств на дифракционных решетках и сравните их с WDM других видов.
14. Какие существуют способы соединения ОВ? Основные передаточные характеристики соединителей. Дайте их численное значение.
15. Конструкции соединительных муфт.
16. Назовите и дайте определения основных параметров оптических разветвителей.
17. Для чего предназначен аттенюатор? Какие типы аттенюаторов вы знаете?
18. Типы контакта в соединителях (коннекторах).
19. Виды оптических коннекторов, их основные характеристики и область применения.
20. В чем заключается технология PON. Архитектура PON?
21. Назовите основные виды разветвителей. Опишите принцип работы разветвителя.
22. Каково назначение оптического коммутатора. Принцип работы оптического коммутатора.

При ответе на вопросы необходимо дать подробное описание:

- назначения устройства;
- физический принцип работы устройства (схема, рисунок);
- математические выражения, описывающие параметры устройства;
- основные технические характеристики;
- направление дальнейшего развития.

7.2. Структура экзаменационного билета.

Экзаменационный билет состоит из трех теоретических вопросов и двух задач по темам ООВ и МОВ. Задачи дают возможность оценить принципиальные возможности применения различных видов ОВ при расчете длины регенерационного участка, сопоставить характеристики различных методов (компенсации дисперсии, спектральное уплотнение), увеличения пропускной способности каналов связи.

ОНС и ПК ВОЛС	каф. СВЧиКР ТУСУР
Билет №1	
1. Дайте полную классификацию ОВ, численные значения передаточных характеристик. (вопрос из раздела I).	
2. Опишите основные типы конструкции ОК. (вопрос из раздела II)	
3. Назовите типы оптических коммутаторов. Опишите принцип работы оптического коммутатора. (вопрос из раздела III)	
4. Задача на расчет длины регенерационного участка ООВ.	
5. Задача на расчет длины элементарного кабельного участка на МОВ.	

Рассмотрим примеры решения экзаменационных задач [3].

4. Задача на расчет длины регенерационного участка ООВ.

Зоновая ВОЛС, использующая стандартное ОВ (SMF) на длине волны $\lambda=1360$ нм (E-диапазон). и источника излучения ЛД (LD) со спектральной шириной $\Delta\lambda=0,5$ нм. передает цифровой поток со скоростью $V=2,5$ Гбит/с. (STM-16). Энергетический бюджет линии \mathcal{E} составляет $\mathcal{E}=36$ дБ. В линии связи используются пассивные компоненты: 2 оптических переключателя и 2 ответвителя (10:90%). Рассчитать максимальную протяженность участка регенерации по затуханию и дисперсии, учитывая при этом кабельные потери, потери на стыках строительных длин и потери в коннекторах.

Решение:

Определим длину регенерационного участка по затуханию с учетом того, что в ВОЛС используются пассивные компоненты, которые вносят дополнительное затухание: $\alpha_{отв}$ - затухание вносимое ответвителем $\alpha_{отв}=0,4$ дБ, количество ответвителей $N_{отв}=2$; $\alpha_{пер}$ - затухание вносимое переключателем $\alpha_{пер}=0,6$ дБ, количество переключателей $N_{пер}=2$.

При этом, помимо двух разъемных соединений в линии, следует учитывать по два дополнительных разъемных соединения на каждый пассивный элемент ВОЛС, т. е. число разъемных соединений N_{pc} составит $N_{pc} = 2 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 2 = 10$. Мы знаем, что коэффициент затухания для ООВ (рек. ITU-T G.652) на длине волны $\lambda=1340$ составляет $\alpha_{ов} = 0,35$ дБ/км;

С учетом кабельных потерь $\alpha_{ок} = \alpha_{ов} \cdot 1,1 = 1,1 \cdot 0,35 = 0,385$ дБ / км;

Примем энергетический запас M равным 4 дБ.

Тогда длина регенерационного участка составит:

$$L_{\alpha} = \frac{\mathcal{E} - M - \alpha_{pc} \cdot N_{pc} - \alpha_{омв} \cdot N_{омв} - \alpha_{пер} \cdot N_{пер}}{\alpha_{ок} - \alpha_{ис} / l_{сд}}$$

$$L_{\alpha} = \frac{36 \text{ дБ} - 4 \text{ дБ} - 0,2 \text{ дБ} \cdot 10 - 0,4 \text{ дБ} \cdot 2 - 0,6 \text{ дБ} \cdot 2}{0,35 \text{ дБ} / \text{км} \cdot 1,1 - 0,05 \text{ дБ} / 2 \text{ км}} = 77,8 \approx 78 \text{ км}.$$

Рассчитаем длину регенерационного участка по дисперсии

$$L_D = \frac{440}{B \cdot D(\lambda) \cdot \Delta\lambda},$$

где B – скорость передачи информации [Гбит/с]. При STM-16 – $B=2.5$ Гбит/с.

$D(\lambda)$ - коэффициент удельной хроматической дисперсии на длине волны $\lambda=1340$ нм определим из выражения:

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left(1 - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right)$$

где S_0 - наклон дисперсионной кривой в точке нулевой дисперсии, для ООВ (рек. ITU-T G.652) $S_0 = 0.092$ пс/нм²*км, а λ_0 - длина волны нулевой дисперсии, $\lambda_0 = 1310$ нм.

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right) = \frac{0.092 \text{ пс} / \text{нм}^2 * \text{км}}{4} \left(1360 \text{ нм} - \frac{(1310 \text{ нм})^4}{(1360 \text{ нм})^3} \right) = 4.35 \text{ (пс} / \text{нм} * \text{км)}$$

При этом длина регенерационного участка по дисперсии составит:

$$L_D = \frac{440}{B \cdot D(\lambda) \cdot \Delta\lambda} = \frac{440}{2.5 \text{ Гбит} / \text{с} \cdot 4.35 \text{ пс} / \text{нм} * \text{км} \cdot 0.5 \text{ нм}} = 80.9 \text{ км}.$$

Для данной ВОЛС протяженность регенерационного участка будет ограничена затуханием и его максимальная длина составит $L_{\alpha}=78$ км.

5. Задача на расчет длины элементарного кабельного участка на МОВ.

В магистральной проводке ЛВС (LAN) длиной 600 м. используется МОВ (рек. G.651). Определить максимальную скорость передачи, реализуемую МОВ с числовой апертурой $NA=0.22$ и показателем преломления сердцевины $n_1=1.46$. Оценить минимальный необходимый энергетический потенциал линии, исходя из экономической эффективности ЛВС. Рассмотреть три варианта МОВ с: ступенчатым, градиентным и оптимальным ППП.

Решение:

Скорость передачи МОВ пропорциональна коэффициенту широкополосности ОВ, найти который мы можем зная величину межмодовой дисперсии:

$$B \approx \Delta f = \frac{\Delta F}{L}, \text{ а } \Delta F = \frac{0.44}{\tau_{\text{межм}}}$$

где B - скорость передачи для NRZ кода приблизительно равна ширине полосы пропускания МОВ [Гбит/с],

ΔF - коэффициент широкополосности МОВ [$\text{ГГц} \cdot \text{км}$],

L - длина линии [км],

$\tau_{\text{межм}}$ - межмодовая дисперсия [нс/км].

Величина межмодовой дисперсии в зависимости от ППП определится как

$$\tau_{\text{межм}} = \frac{n_1 \cdot \Delta}{c} - \text{ для ОВ со ступенчатым ППП};$$

$$\tau_{\text{межм}} = \frac{n_1 \cdot \Delta^2}{2c} L - \text{ для ОВ с градиентным ППП};$$

$$\tau_{\text{межм}} = \frac{n_1 \cdot \Delta^2}{8c} L - \text{ для ОВ с оптимальным ППП};$$

недостающее для расчетов значение Δ найдем из выражения:

$$NA = n_1 \cdot \sqrt{2\Delta}, \text{ откуда } \Delta = \frac{NA^2}{2n_1^2}$$

Подставим выражение для Δ в формулу межмодовой дисперсии. Тогда:

Для ступенчатого ППП

$$\tau_{\text{межм}} = \frac{n_1 \cdot \Delta}{c} = \frac{NA^2}{2 \cdot n_1 \cdot c} = \frac{(0.22)^2}{2 \cdot 1.46 \cdot 3 \cdot 10^5} = 55.3 \text{ нс / км}$$

Для градиентного ППП

$$\tau_{\text{межм}} = \frac{n_1 \cdot \Delta^2}{2c} = \frac{NA^4}{2 \cdot 4 \cdot n_1^3 \cdot c} = \frac{(0.22)^4}{2 \cdot 4 \cdot (1.46)^3 \cdot 3 \cdot 10^5} = 313,7 \text{ нс / км}$$

Для оптимального ППП

$$\tau_{\text{межм}} = \frac{n_1 \cdot \Delta^2}{8c} = \frac{NA^4}{8 \cdot 4 \cdot n_1^3 \cdot c} = \frac{(0.22)^4}{8 \cdot 4 \cdot (1.46)^3 \cdot 3 \cdot 10^5} = 78,4 \text{ нс / км}$$

Определим важнейшую характеристику МОВ коэффициент широкополосности для каждого ППП:

$$\Delta F_{\text{ступ}} = \frac{0.44}{\tau_{\text{межм ступ}}} = \frac{0.44}{55,3 \text{ нс / км}} \approx 795 \text{ МГц} \cdot \text{км};$$

$$\Delta F_{\text{град}} = \frac{0,44}{\tau_{\text{межм град}}} = \frac{0,44}{313,7 \text{ нс / км}} = 1,4 \text{ ГГц} \cdot \text{км};$$

$$\Delta F_{\text{опт}} = \frac{0,44}{\tau_{\text{межм опт}}} = \frac{0,44}{78,4 \text{ нс / км}} = 5,6 \text{ ГГц} \cdot \text{км}.$$

Зная коэффициенты широкополосности для каждого ППП определим

максимальную скорость передачи информации, которую возможно обеспечить:

$$B = \frac{\Delta F}{L}$$

тогда для ступенчатого ППП:

$$B_{\text{ступ}} = \frac{\Delta F}{L} = \frac{0,795 \text{ ГГц} \cdot \text{км}}{0,6 \text{ км}} = 1,3 \text{ Гбит} / \text{с}$$

для градиентного ППП:

$$B_{\text{град}} = \frac{\Delta F}{L} = \frac{1,4 \text{ ГГц} \cdot \text{км}}{0,6 \text{ км}} = 2,3 \text{ Гбит} / \text{с}$$

для оптимального ППП:

$$B_{\text{опт}} = \frac{\Delta F}{L} = \frac{5,6 \text{ ГГц} \cdot \text{км}}{0,6 \text{ км}} = 9,3 \text{ Гбит} / \text{с}$$

Дадим оценку минимально необходимого энергетического потенциала.

Потери в данной линии будут обусловлены затуханием в ОВ и затуханием на разъёмных соединениях.

Коэффициент затухания в МОВ, работающего на длине волны 1300 нм, $\alpha \leq 0,7 \text{ дБ/км}$. Затухание на разъёмном соединении - $\alpha_{pc} = 0,2 \text{ дБ}$, а число разъёмных соединений берем $N_{pc} = 2$.

$$\Theta = \alpha_{ov} \cdot L + \alpha_{pc} \cdot N_{pc} + M = (0,7 \text{ дБ} / \text{км}) \cdot 0,6 \text{ км} + 2 \text{ дБ} + 0,2 \text{ дБ} \cdot 2 = 2,82 \text{ дБ}$$

Оптимальный ППП (дисперсия которого очень мала) на практике не встречается и используется в основном как идеализированная модель. В настоящее время практически используется только градиентное оптическое волокно [10, 15].

Таким образом, максимальная скорость передачи, реализуемую МОВ, в данной задаче для дальности в 600 метров составит 2,3 Гбит/с. а минимальный необходимый энергетический потенциал составит 3 дБ.

7.3. Типовые задачи Государственного экзамена.

Для тренировки предлагаем решить самостоятельно следующие две задачи. Подобные задачи включены в Государственный экзамен по специальности [19].

1. Определить наибольшую длину участка регенерации и величину энергетического потенциала магистральной ВОЛС, использующей ОВ G.652 на длине волны $\lambda = 1560 \text{ нм}$ ($S_0 = 0,09 \text{ пс/нм}^2 \cdot \text{км}$ и $\lambda_0 = 1310 \text{ нм}$) при передаче потока STM-4, линейный код передачи -NRZ. Источник излучения- LD со спектральной шириной $\Delta\lambda = 0,8 \text{ нм}$. При расчете учесть: энергетический запас; потери на соединениях ОВ (разъёмных, неразъёмных), макроизгибах (кабельные потери). В ВОЛС использованы пассивные компоненты: 3 ответвителя с коэффициентом деления 10/90% и 1 переключатель каналов.
2. В горизонтальной проводке ЛВС (LAN) длиной 500 м, используется многомодовое ОВ. Определить максимальную скорость передачи, реализуемую МОВ (рек. G.651) с показателем преломления сердцевинны $n_1 = 1,47$ и числовой апертурой $NA = 0,2$. Рассмотреть два

варианта: ступенчатый и градиентный ППП. Оценить минимальный необходимый энергетический потенциал линии, исходя из экономической эффективности ЛВС (рассмотреть возможность применения СИД или ЛД)

7.4. Задачи повышенной сложности.

Ниже приведены задачи по расчету длины регенерационного участка современных ВОЛС.

Особенностью первой задачи является учет расширения спектра излучения источника, обусловленного широкой полосой спектра сигнала вследствие высокой скорости передачи информации ($B > 10$ Гбит/с).

Особенность второй задачи – применение компенсационного модуля для увеличения длины регенерационного участка по дисперсии.

1. Определить величину энергетического потенциала и наибольшую длину участка регенерации магистральной ВОЛС, использующей ОВ по Рек. G.653 при передаче потока STM-64, линейный код – NRZ. Источник излучения – LD со спектральной шириной $\Delta\lambda = 0,01$ 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 20/80% и 1 переключатель резервного канала.

В данной задаче необходимо учесть расширение спектра, обусловленное большой скоростью передачи и сверхузкой спектральной полосой источника излучения (LD).

Решение:

Длину участка регенерации по дисперсии L_D , [км] вычислим по формуле:

$$L_D = \frac{440}{D(\lambda) \cdot \Delta\lambda_1 \cdot B},$$

где $D(\lambda)$ - коэффициент удельной хроматической дисперсии, для G.653 он равен $3,5$ [$\frac{ps}{nm \cdot км}$]; B - скорость передачи информации, [$\frac{Гбит}{с}$];

$\Delta\lambda_1$ – ширина спектра излучения, [нм].

Так как в данной задаче используется источник излучения со сверхузкой спектральной полосой $\Delta\lambda_{LD} = 0,01$ нм, то при большой скорости передачи информации происходит уширение спектра оптического сигнала, которое обусловлено модуляцией несущей цифровым сигналом, поэтому $\Delta\lambda_1$ рассчитываем как:

$$\Delta\lambda_1 = \Delta\lambda_{LD} + \Delta\lambda_{сигн}$$

где $\Delta\lambda_{сигн}$ - уширение спектра сигнала, [нм], которое рассчитываем по формуле:

$$\Delta\lambda_{сигн} = \frac{\lambda^2}{c} B \quad (1.2)$$

где λ - рабочая длина волны, [нм], для G.653 она равна 1550 [нм];
 c - скорость света, равная $3 \cdot 10^8$ м/с

Подставив в формулу (1.2) численные значения, получим $\Delta\lambda_{\text{сигн}}$ равной:

$$\Delta\lambda_{\text{сигн}} = \frac{(1.55 \cdot 10^{-6})^2}{3 \cdot 10^8} \cdot 10 \cdot 10^9 = 0.08, \text{ [нм]}$$

Теперь найдем $\Delta\lambda_1$:

$$\Delta\lambda_1 = 0.01_{\text{нм}} + 0.08_{\text{нм}} = 0.09, \text{ [нм]}$$

Определим длину регенерационного участка по дисперсии L_D :

$$L_D = \frac{440}{D(\lambda) \cdot \Delta\lambda_1 \cdot B} = \frac{440}{3.5 \frac{\text{нс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} \cdot 0.09_{\text{нм}} \cdot 10 \frac{\text{Гбит}}{\text{с}}} = 139.7 \approx 140 \text{ [км]}.$$

Известно, что длина регенерационного участка по затуханию L_α [км] равна:

$$L_\alpha = \frac{\mathcal{E} - M - N_{pc} \cdot \alpha_{pc} - N_{ответ} \cdot \alpha_{ответ} - N_{пер} \cdot \alpha_{пер}}{\alpha_{ок} + \frac{\alpha_{нс}}{L_{стр}}}$$

Из этого выражения определим требуемый \mathcal{E} – энергетический потенциал линии [дБ]

$$\mathcal{E} = L_\alpha \cdot \left(\alpha_{ок} + \frac{\alpha_{нс}}{L_{стр}} \right) + M + N_{pc} \cdot \alpha_{pc} + N_{ответ} \cdot \alpha_{ответ} + N_{пер} \cdot \alpha_{пер} \quad (1.3)$$

где M – энергетический запас, который в нашем случае примем равным 6 [дБ];

N_{pc} - количество разъемных соединений;

α_{pc} - затухание одного разъемного соединения, $\alpha_{pc} = 0,2$ [дБ];

$\alpha_{ответ}$ - затухание вносимое ответвителем, $\alpha_{ответ} = 0,6$ [дБ];

$\alpha_{пер}$ - затухание вносимое переключателем, $\alpha_{пер} = 0,8$ [дБ];

$\alpha_{ок}$ - затухание в кабеле, которое находится как

$$\alpha_{ок} = 1.1 \cdot \alpha_{ов} = 1.1 \cdot 0.25 = 0.275 \text{ [дБ / км]};$$

$\alpha_{нс}$ - затухание неразъемных соединений, $\alpha_{нс} = 0,05$ [дБ];

$L_{стр}$ - строительная длина линии, $L_{стр} = 2$ [км].

При этом будем учитывать то, что в ВОЛС используются пассивные компоненты (1 ответвитель, 1 переключатель), которые вносят дополнительные потери. При этом помимо двух разъемных соединений линии, следует учесть по два дополнительных разъемных соединения на каждый пассивный компонент ВОЛС, т. е. $N_{pc} = 8$.

Пологая в выражении (1.3) $L_\alpha = L_D$ получим:

$$\mathcal{E} = 140_{\text{км}} \cdot \left(0.275_{\text{дБ/км}} + \frac{0.05_{\text{дБ}}}{2_{\text{км}}} \right) + 6_{\text{дБ}} + 6 \cdot 0.2_{\text{дБ}} + 0.6_{\text{дБ}} + 0.8_{\text{дБ}} \approx 50 \text{ [дБ]},$$

Ответ: требуемый энергетический потенциал ВОЛС составляет 50 [дБ] при этом максимальная длина регенерационного участка составляет 140 [км].

2. Оценить длину участка регенерации магистральной ВОЛС, использующей ОВ G.652 на длине волны $\lambda=1540$ нм ($D(\lambda)=18$ пс/нм²*км) при передаче потока STM-16 ($B=10$ Гбит/с), линейный код – NRZ. Источник излучения – LD со спектральной шириной $\Delta\lambda=0,05$ нм. $P_{пер}$ составляет 8 дБм, $P_{пр}=-35$ дБм.

При расчете учесть: энергетический запас; потери на соединениях ОВ (разъемных, неразъемных), макроизгибах (кабельные потери). В ВОЛС использованы пассивные компоненты: 1 ответвитель с коэффициентом деления 20/80% и 1 переключатель резервного канала.

Решение:

В данной задаче используются 2 ответвителя с коэффициентом деления 20/80%, следовательно $\alpha_{ответ}=1,3$ дБ, а затухание в переключателе ($\alpha_{перек}$) принимаем 0,6 дБ. Пусть $\alpha_{рс}=0,2$ дБ и $\alpha_{нс}=0,05$ дБ. Так как каждый из пассивных компонент имеет разъемные соединения, то $N_{рс}=6$. Примем строительную длину $L_{стр}=2,2$ км, энергетический запас - $M=5$ дБ. Примем $\alpha_{ов} = 0,22$ дБ/км, тогда $\alpha_{ок} = \alpha_{ов} * 1,1 = 0,24$ дБ/км.

Находим величину энергетического потенциала:

$$\mathcal{E} = P_{пер} - P_{пр} = 8 \text{ дБм} - (-35 \text{ дБм}) = 43 \text{ дБ} ,$$

Определяем длину регенерационного участка по затуханию с учетом $\alpha_{ответ}$ и $\alpha_{перек}$:

$$L_{\alpha} = \frac{\mathcal{E} - M - N_{рс} \cdot \alpha_{рс} - N_{ответ} \cdot \alpha_{ответ} - N_{перек} \cdot \alpha_{перек}}{\alpha_{ок} + \frac{\alpha_{нс}}{L_{стр}}} = \frac{43 \text{ дБ} - 5 \text{ дБ} - 6 \cdot 0,2 \text{ дБ} - 1 \cdot 1,3 \text{ дБ} - 1 \cdot 0,6 \text{ дБ}}{0,24 \frac{\text{дБ}}{\text{км}} + \frac{0,05 \text{ дБ}}{2,2 \text{ км}}} = 133 \text{ км}$$

Далее определяем длину регенерационного участка по дисперсии:

$$L_{\delta} = \frac{440}{D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot B} = \frac{440}{18 \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} \cdot 0,05 \text{ нм} \cdot 10 \text{ Гбит} / \text{с}} = 48,9 \text{ км} .$$

Из полученных значений мы видим, что длина регенерационного участка по затуханию гораздо больше, чем по дисперсии. Чтобы увеличить длину регенерационного участка, надо ввести компенсационный модуль.

Для нашего случая нам подойдет компенсационный модуль на 60 км, типа 15DC-1020 Fujikura, с вносимым затуханием $\alpha_{комп}=6,9$ дБ.

При этом получаем длину регенерационного участка по дисперсии:

$$L_{\delta} = 48,9 + 60 = 108,9 \text{ км} .$$

Теперь найдем длину регенерационного участка по затуханию, с учетом $\alpha_{комп}$:

$$L_{\alpha} = \frac{\mathcal{E} - M - N_{рс} \cdot \alpha_{рс} - N_{ответ} \cdot \alpha_{ответ} - N_{перек} \cdot \alpha_{перек} - \alpha_{комп}}{\alpha_{ок} + \frac{\alpha_{нс}}{L_{стр}}} =$$

$$L_{\alpha} = \frac{43 \text{ дБ} - 5 \text{ дБ} - 6 \cdot 0,2 \text{ дБ} - 1 \cdot 1,3 \text{ дБ} - 1 \cdot 0,6 \text{ дБ} - 6,9 \text{ дБ}}{0,24 \frac{\text{дБ}}{\text{км}} + \frac{0,05 \text{ дБ}}{2,2 \text{ км}}} = 106,5 \text{ км}$$

В результате получим, что при использовании компенсационного модуля на 60 км длина регенерационного участка по затуханию $L_\alpha = 106.5 \text{ км}$ и дисперсии $L_\sigma = 108,9 \text{ км}$, т.е. приблизительно одинаковы.

7.5. Тестовый контроль знаний.

Компьютерный тестовый контроль знаний (контрольно-измерительные материалы) предназначен для контроля знаний студентов по основным техническим характеристикам многомодовых и одномодовых оптических волокон.

Программа помогает освоить студентам самостоятельно единицы измерения и численные значения геометрических, механических и, самое главное, передаточных характеристик оптических волокон. Продукт содержит более 50 вопросов.

Методические указания к тестовому контролю знаний представлены в локальной сети кафедры СВЧиКР в разделе с методическими материалами профессора В.И. Ефанова.

8. Контрольные этапы и их максимальный рейтинг.

6 семестр (зачет, лекции, практика, реферат)

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую контрольную точку с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Посещение занятий	4	4	4	12
Коллоквиум (реферат, презентация)	9	8	8	25
Контрольные работы на практических занятиях	9	9	6	24
Индивидуальное расчетное задание		12	15	27
Компонент своевременности	4	4	4	12
Итого максимум за период:	26	37	36	100
Нарастающим итогом	28	63	100	

7 семестр (экзамен, лекции, лабораторные работы)

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую контрольную точку с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Посещение занятий	4	4	4	12
Контрольные работы	11	11		22
Выполнение и защита результатов лабораторных работ		6	18	24
Компонент своевременности	4	4	4	12
Итого максимум за период:	19	25	26	70
Нарастающим итогом	19	44	70	
Экзамен			30	100

8 семестр (курсовой проект)

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1-ую контрольную точку с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Получение задания на курсовой проект/работу	4			4
Подбор и обзор литературы	12			12
Выполнение необходимых расчетов по проекту		18		18
Контрольное собеседование		4	8	12
Полное оформление работы			12	12
Компонент своевременности	4	4	4	12
Итого максимум за период:	20	26	24	70
Нарастающим итогом	20	46	70	
Защита курсового проекта			30	100

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ.

Основная литература

1. Портнов Э.Л. Оптические кабели связи и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. - 464с.: ил.
2. Ефанов В.И. Электрические и волоконно-оптические линии связи: учеб. пособие / В.И. Ефанов. 2-е изд., доп. – Томск : ТУСУР, 2007. - 256 с.
3. Ефанов В.И. Сборник задач по курсу «Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи». – Томск.: ТУСУР, 2007. -50 с.
4. В. И. Ефанов. Оптические направляющие среды и пассивные компоненты волоконно-оптических линий связи: методические указания к лабораторному практикуму. – Томск: ТУСУР, 2008. – 67 с.
5. Ефанов В.И. Проектирование волоконно-оптических линий связи. Учебно-методическое пособие для выполнения курсового проекта по дисциплине «Оптические линии связи и пассивные компоненты ВОЛС» – Томск.: ТУСУР, 2007. -100 с.
6. Ефанов В.И. Проектирование, строительство и эксплуатация ВОЛС: учебное пособие – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 103 с.
7. Ефанов В.И., Направляющие системы электросвязи (ч.2 «Волоконно-оптические линии связи»): учебное пособие – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2007. – 163 с.

Дополнительная литература

8. Ксенофонтов С.Н., Портнов Э.Л. Направляющие системы электросвязи. Сборник задач: Учебное пособие для вузов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 268 с.: ил.
9. Р. Фриман Волоконно-оптические системы связи 3-е дополнительное издание Москва: Техносфера, 2006. -496с.
10. Семенов А.Б. Волоконно-оптические подсистемы современных СКС / Семенов А.Б. – М.:Академия АйТи; ДМК Пресс, 2007. -632с.+88 цв.ил.
11. Р.Р. Убайдуллаев. Волоконно-оптические сети. М. ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000-277с..
12. Гауэр Дж. Оптические системы связи. Пер с англ. под ред. А.И. Ларкина. – М.: Радио и связь 1988 – 504с.
13. Прохоров Д.В. Атмосферные оптические линии связи// «Технологии и средства связи», 2004, №1, сс. 34-39.
14. А.В. Листвин, В.Н.Листвин, Д.В. Швырков Оптические волокна для линии связи – М.: ЛЕСАРарт, 2003. 288с. ил.

15. Ефанов В.И., Миргород В. Г. Основы проектирования структурированных кабельных систем: Учеб. Пособие. / Ефанов В.И., Миргород В. Г. – Томск, Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 108 с.
16. Ефанов В.И. Направляющие системы электросвязи. Часть 1. Электрические линии связи: Учебное пособие. – Томск, 2007. - 182 с.
17. Ефанов В.И. Основы проектирования сетей кабельного телевидения: Учеб. Пособие. / Томск, Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 104 с.
18. Н.И. Горлов, А.В. Микиденко, Е.А.Минина. Оптические линии связи и пассивные компоненты ВОСП. СибГУТИ, 2003, Новосибирск, 230с
19. Методические указания по подготовке к аттестационному экзамену по специальности 210401 «Физика и техника оптической связи» / Под ред. С.Н. Шаранговича. – Томск: Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2007.-52 с.
20. Гитин В.Я., Кочановский Л.Н. Волоконно-оптические системы передачи. Учебное пособие для техникумов связи. – М.: Радио и связь, 2003. – 128 с.
21. <http://www.lightwave-russia.com/>
22. <http://www.fotonexpress.ru/>

Справочная литература:

23. Иоргачёв Д.В., Бондаренко О.В. Волоконно-оптические кабели и линии связи. – М.: Эко-Трендз, 2002. – 282 с.
24. Воронцов А.С., Гурин О.И. и др. Оптические кабели связи российского производства. Справочник. - М.: Эко-Трендз, 2003. – 288 с.: ил.
25. Свистунова Е.В. Как грамотно оформить, правильно презентовать и успешно защитить письменную работу : Практические рекомендации для студентов вузов. – М.: СтереОМИР, 2006. – 114 с.: ил.
26. Ларин Ю.Т., Ильин А.А., Нестеренко В.А. Кабели оптические. Заводы-изготовители. Общие сведения. Конструкции, оборудование, техническая документация, сертификаты. – М.:Престиж, 2007. – 320 с.
27. Ежегодный сборник «Вся волоконная Россия». Под. ред. А.Г. Свинцова. – М.: Фотон-Экспресс, 2008. – 230 с.

Варианты индивидуальных заданий

№ варианта	Одномодовое ОБ						Многомодовое ОБ				Смещение		
	λ_1 , нм	λ_2 , нм	d , мкм	Δ , %	погрешность изготовления δd , мкм	$\Delta\lambda_{LD}$, нм	λ_1 , нм	λ_2 , нм	d , мкм	Δ , %	θ , град	$\frac{S}{D}$	$\frac{L}{D}$
1	1275	1539	6	0,75	±0,7	0,1	780	1330	50	1	0,2	0,03	0,50
2	1290	1547	7	0,36	±0,5	0,2	784	1329	62,5	1,2	0,4	0,06	0,44
3	1305	1555	8	0,33	±0,6	0,3	788	1327	50	1,5	0,7	0,08	0,42
4	1320	1563	9	0,75	±0,7	0,4	792	1325	62,5	1,8	0,9	0,10	0,39
5	1335	1571	10	0,36	±0,5	0,5	796	1322	50	2	1,1	0,11	0,36
6	1350	1579	8	0,33	±0,6	0,6	800	1320	62,5	1	1,3	0,14	0,33
7	1365	1587	6	0,75	±0,7	0,7	808	1316	50	1,2	1,6	0,17	0,31
8	1380	1595	7	0,36	±0,5	0,8	812	1313	62,5	1,5	1,8	0,19	0,28
9	1395	1603	8	0,33	±0,6	0,9	816	1303	50	1,8	2,0	0,22	0,25
10	1410	1611	6	0,75	±0,7	1,0	850	1310	62,5	2	2,4	0,25	0,22
11	1425	1619	10	0,36	±0,5	1,1	828	1303	50	1	2,7	0,28	0,19
12	1440	1627	6	0,33	±0,6	1,2	830	1300	62,5	1,2	2,9	0,31	0,17
13	1455	1635	7	0,75	±0,7	1,3	838	1296	50	1,5	3,0	0,33	0,14
14	1470	1643	8	0,36	±0,5	1,5	840	1293	62,5	1,8	3,1	0,36	0,11
15	1485	1651	9	0,33	±0,6	1,6	846	1290	50	2	3,3	0,39	0,10
16	1500	1659	10	0,75	±0,7	1,7	820	1286	62,5	1	3,6	0,42	0,08
17	1515	1667	6	0,36	±0,5	1,8	856	1283	50	1,2	3,8	0,44	0,06
18	1530	1675	7	0,33	±0,6	2,0	860	1280	62,5	1,5	4,0	0,50	0,03

Приложение Б

Коэффициенты Селмейера

№ варианта	Состав стекла	A_1	A_2	A_3	μ_1 , МКМ	μ_2 , МКМ	μ_3 , МКМ
1	13,5% GeO ₂ 86,5% SiO ₂	0,73454395	0,42710828	0,82103399	0,08697693	0,11195191	10,846540
2	7,0% GeO ₂ 93,0% SiO ₂	0,68698290	0,44479505	0,79073512	0,078087582	0,11551840	10,436628
3	4,1% GeO ₂ 95,9% SiO ₂	0,68671749	0,43481505	0,89656582	0,072675189	0,11514351	10,002398
4	9,1% GeO ₂ 7,7% B ₂ O ₃ 83,2% SiO ₂	0,72393884	0,41129541	0,79292034	0,085826532	0,10705260	9,3772959
5	0,1% GeO ₂ 5,4% B ₂ O ₃ 94,5% SiO ₂	0,70420420	0,41289413	0,95238253	0,067974973	0,12147738	9,6436219
6	4,3% GeO ₂ 9,7% B ₂ O ₃ 86,0% SiO ₂	0,69681388	0,40865177	0,89374039	0,070555513	0,11765660	9,8754801
7	13,5% Be ₂ O ₃ 86,5% SiO ₂	0,707246220	0,39412616	0,63301929	0,080478054	0,10925792	7,8908063
8	3,1% GeO ₂ 96,9% SiO ₂	0,7028554	0,4146307	0,8974540	0,0727723	0,1143085	9,896161
9	3,5% GeO ₂ 96,5% SiO ₂	0,7042038	0,4160032	0,9074049	0,0514415	0,1291600	9,896156
10	5,8% GeO ₂ 94,2% SiO ₂	0,7088876	0,4206803	0,8956551	0,0609053	0,1254514	9,896162
11	7,9% GeO ₂ 92,1% SiO ₂	0,7136824	0,4254807	0,8964226	0,0617167	0,1270814	9,896161
12	3,0% B ₂ O ₃ 97,0% SiO ₂	0,6935408	0,4052977	0,9111432	0,0717021	0,1256396	9,896154
13	3,5% B ₂ O ₃ 96,5% SiO ₂	0,6929642	0,4047458	0,9154064	0,0604843	0,1239609	9,896152
14	3,3% GeO ₂ 9,2% B ₂ O ₃ 87,5% SiO ₂	0,6958807	0,4076588	0,940193	0,0665654	0,1211422	9,896140
15	2,2% GeO ₂ 3,3% B ₂ O ₃ 94,5% SiO ₂	0,6993390	0,4111269	0,9035275	0,0617482	0,1242404	9,896158
16	9,1% P ₂ O ₅ 90,9% SiO ₂	0,695790	0,452497	0,712513	0,061568	0,119921	8,656641
17	13,3% B ₂ O ₃ 86,7% SiO ₂	0,690618	0,401996	0,898817	0,061900	0,123662	9,098960
18	1,0% F 99,0% SiO ₂	0,691116	0,399166	0,890423	0,068227	0,116460	9,993707

ВЫПОЛНЕНИЕ РЕФЕРАТИВНЫХ РАБОТ

1. Общие требования

Реферат - краткое изложение содержания первичного документа (или его части) с основными фактическими сведениями. Роль первичного документа выполняет научное издание, монография, статьи. Второе значение этого понятия - доклад на определенную тему, включающий обзор соответствующих литературных и других источников, далее будем называть этот вид работы «реферат-доклад». Обычно студент сталкивается и с той, и с другой формой реферата [25].

Прежде чем выбрать тему реферата, определите свой интерес, над какой проблемой Вы хотели бы поработать, более глубоко изучить, и сформулируйте тему. Перед началом работы над рефератом следует наметить небольшой план и подобрать литературу. Прежде всего, воспользуйтесь литературой, рекомендованной учебной программой, а затем расширьте список источников, не забудьте использовать реферативные и специальные журналы, где Вы найдете новейшую научную информацию.

Реферат составляется по следующему примерному плану:

1. тема, предмет изучения, цель реферируемой работы;
2. методы проведения исследования в реферируемой работе. Если они новы, то их следует описать, если широко известны, то их следует только назвать;
3. существо работы, конкретные результаты работы. Приводятся основные теоретические, экспериментальные, описательные результаты, при этом предпочтение отдается новым результатам;
4. выводы (оценки, приложения), принятые и отвергнутые гипотезы, описанные в реферируемом источнике.

Если же реферат выполняется по нескольким источникам (реферат-доклад), необходимо написать **вводную часть**, раскрывающую общие подходы к рассматриваемой проблеме, и показать те особенности темы, которые вы собираетесь раскрыть, основываясь на реферируемых источниках, в конце работы сделать **обобщающие выводы и заключения**. Также необходимо в реферате-докладе оформлять **ссылки** на каждый реферируемый источник.

Обычно в реферате избегают вводных, общих фраз (например, «автор статьи рассматривает...»), излагают материал кратко и точно. Умение отделять основную информацию от второстепенной - одно из основных требований к реферирующему. Хорошие результаты в выработке умения выделять основную информацию дает известный прием, названный условно *фильтрацией и сжатием текста*, который включает в себя две операции: ^

1. разбивку текста на части по смыслу;
2. нахождение в каждой части текста одного слова, краткой фразы или обобщающей формулировки, выражающих основу содержания (ключевое понятие) этой части.

Основное отличие реферата от реферируемого текста - отсутствие избыточного материала, то есть удаление отдельных слов или частей текста, не

несущих значимой информации, а также замена развернутых оборотов текста более лаконичными сочетаниями (свертывание).

2. Структура и оформление реферата

Примерный план реферата:

1. Титульный лист.
2. План-оглавление.
3. Введение.

Дается постановка вопроса, объясняется выбор темы, ее актуальность и значимость, указываются цель и задачи реферата, дается характеристика используемой литературы.

4. Основная часть.

Состоит из нескольких разделов. Каждый раздел основной части раскрывает отдельную проблему или одну из ее сторон и логически является продолжением предыдущего. Допускается включение таблиц, графиков, схем.

5. Заключение.

Подводятся итоги или дается обобщенный вывод по теме реферата, даются рекомендации.

6. Библиография. Список реферируемых источников с указанием их полных библиографических данных

При написании реферата используются не менее 8-10 различных источников.

Подготовка презентации в Power Point

Основные принципы подготовки информации на слайдах [25].

1. **Принцип контраста** — включать контрастные элементы, т.е. использовать разный размер шрифтов, разные цвета, символы.

Контраст — это то, что привлекает внимание.

2. **Принцип повторяемости** — в одной теме использовать повторение некоторых элементов оформления, например, использовать одинаковые рамки, цвет поля, тип шрифта. Это создает ощущение организованности и единства.

3. **Принцип упорядоченности** — элементы на странице не должны быть расположены произвольно (хаотично), они должны иметь некоторую видимую связь между собой.

4. **Принцип близости** — элементы, связанные общим смыслом, должны быть сгруппированы вместе, образуя как бы некоторую визуальную единицу.

Кроме этого, существуют некоторые **конкретные правила представления текстовой и статистической информации на слайдах:**

Занимайте не больше четырех-шести строк. Не включая заголовков и подзаголовков, текстовая информация должна занимать не более 4-6 строк. Чтение большего количества строк отвлекает внимание слушателей и затрудняет понимание.

Используйте не более 40 символов в строке, включая пробелы. Если использовать большее количество символов, то на слайде будет недостаточно свободного (чистого) пространства, которое необходимо оставлять для того, чтобы слушатели могли быстро «схватывать» информацию. Кроме того, плотно заполненный слайд выглядит не структурированным. Необходимо оставлять свободное пространство по краям и с боков.

Не пишите предложения, а только ключевые слова. Поскольку показ слайдов сопровождается объяснениями, нет никакой необходимости перегружать их словами.

Используйте как заглавные, так и строчные буквы. Исследования показывают, что использование заглавных и строчных букв облегчает чтение и распознавание слов. При использовании же только заглавных букв чтение и распознавание слов замедляются.

Используйте одинаковые и стандартные шрифты. Использование слишком замысловатых и непривычных шрифтов (или их чередование) потребует дополнительных усилий, затруднит чтение и восприятие информации.

Используйте цвет, большие буквы для того, чтобы выделить главное. Можно усилить контрастность, используя цвет, буквы большего размера или добавляя простые изображения (картинки). Крупные буквы и яркий цвет направляют взгляд слушателей на то, что необходимо подчеркнуть.

Не увлекайтесь спецэффектами. Они должны применяться обоснованно. Помните, что от «летающих» букв рябит в глазах.

Проверьте соответствие слайдов тексту доклада. Очень неприятно видеть удивленного докладчика, у которого неожиданно закончились слайды.

Пользуйтесь дополнительными возможностями Power Point. В

частности, у него есть возможность включить «представление докладчика». При этом слушателям будут видны только слайды, а на мониторе докладчика будут выводиться также заметки к слайду, идти отсчет времени и показываться следующие слайды.

Презентация - это не текст доклада. Докладчик, превращающий свой доклад в комментарии к слайдам или того хуже - декламирующий текст со слайдов, выглядит неприглядно. Слайды должны дополнять сказанное им, а не повторять. В крайнем случае слайды могут конспективно фиксировать основные пункты, помогая следить за речью.

Принято завершать презентацию слайдом с контактными данными или завершающей фразой. Например, «Спасибо за внимание!». Тогда аудитория не будет шокирована внезапно оборвавшимся показом слайдов.