

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Кафедра «Телекоммуникационные системы»

Специальность: 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Зав. кафедрой

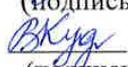
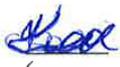
к.т.н., профессор Байкенов А.С.
(ученая степень, звание, ФИО)

(подпись)

« _____ » _____ 2016 г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
пояснительная записка**

на тему: «Исследование влияния различных факторов на качество
передачи в волоконно-оптических линиях связи»

Магистрант: <u>Сейлов Ж.</u> (Ф.И.О.)	 (подпись)	группа <u>МТСп 14-1</u>
Руководитель: <u>к.х.н., ст. преподаватель</u> (ученая степень, звание)	 (подпись)	<u>Кудинова В.С.</u> (Ф.И.О.)
Рецензент <u>к.т.н., доцент</u> (ученая степень, звание)	 (подпись)	<u>Липская М.А.</u> (Ф.И.О.)
Консультант по ВТ <u>старший преподаватель</u> (ученая степень, звание)	 (подпись)	<u>Демидова Г.Д.</u> (Ф.И.О.)
Нормоконтроль: <u>старший преподаватель</u> (ученая степень, звание)	 (подпись)	<u>Кондратович А.П.</u> (Ф.И.О.)

Алматы 2016

**Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»**

Факультет: «Радиотехники и связи»

Специальность: 6М071900 «Радиотехника, электроника и телекоммуникации»

Кафедра: «Телекоммуникационные системы»

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Сейлову Ж.Г.

(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации «Исследование влияния различных факторов на качество передачи в волоконно-оптических линиях связи»

утверждена Ученым советом университета №141 от «__» _____

Срок сдачи законченной диссертации «__» _____

Цель исследования состоит в экспериментальном исследовании влияния различных факторов на качество передачи в волоконно-оптических линиях связи

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

1. Основные понятия оптоволоконной связи
2. Проектирование канала
3. Исследование факторов, влияющих на скорость передачи в волоконном световоде
4. Расчет затухания в оптическом световоде

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

- Схема волнового мультиплексирования.
- Принцип передачи WDM
- Волновые планы CWDM и DWDM.
- Схема возникновения PDM
- Модель канала связи

Рекомендуемая основная литература

1. Макаренко С. И. Системы многоканальной связи. Вторичные сети и сети абонентского доступа: учебное пособие / С.И. Макаренко, В.Е. Федосеев. - СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского, 2014. - 179 с

2. Гасымов И. Архитектура оптических сетей доступа FTTH (Fiber-to-the-Home) // Официальный документ компании CiscoSystemInc. 2007. - 12 с.

Г Р А Ф И К
подготовки магистерской диссертации

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
1. Информационный обзор согласно теме	30.09.2014	
2. Основные понятия оптоволоконна	15.10.2014	
3. Исследование факторов влияющих на скорость передачи в волоконном световоде	07.11.2014	
4. Расчет затухания в оптическом световоде (расчетная часть)	25.12.2015	
5. Анализ полученных экспериментальных и расчетных данных	01.01.2015	

Дата выдачи задания _____

Заведующий кафедрой _____ (подпись) (Байкенов А.С.) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации В.Кудина (подпись) (Кудинова В.С.) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант Сейлов Ж. (подпись) (Сейлов Ж.) (Ф.И.О.)

Аннотация

В данной работе проводится исследования влияния различных факторов на качество передачи в волоконно-оптических линиях связи. Проведено моделирование канала связи для выявления факторов влияющих на качество передачи.

Abstract

In this paper, we investigate the influence of various factors on the quality of the transmission in fiber- optic communication lines . The simulation of a communication channel to identify the factors affecting the quality of the transmission .

Аңдатпа

Бұл мақалада біз талшықты-оптикалық байланыс желілері беру сапасы әр түрлі факторлардың әсерін зерттеу. Беру сапасына әсер ететін факторларды анықтау үшін байланыс арнасының моделирование жүргізілді.

Содержание

Введение	7
1 Особенности проектирования современных волоконных оптических линий связи	9
1.1 Оптическое волокно как среда передачи	10
1.1.1 Физические понятия	10
1.1.2 Особенности передачи в оптоволокне	10
1.1.3 Оптические передатчики и усилители	11
1.1.4 Линейное кодирование	13
1.2 Волновое мультиплексирование	18
1.2.1 Проблемы увеличения пропускной способности ВОСП	19
1.2.2 Классификация систем WDM	20
1.2.3 Особенности разреженных систем WDM (CWDM)	21
1.2.4 Гибридная модель частотного/волнового плана	22
1.2.5 Анализ альтернатив использования CWDM и DWDM	24
1.2.6 Особенности систем WDM для городских сетей	25
1.2.7 Перспективы использования WDM	25
1.2.8 Проблемы при реализации систем WDM	26
1.3 Классификация типов промышленных оптических волокон	27
1.3.1 Классификация многомодовых волокон	28
1.3.2 Классификация одномодовых волокон	28
1.3.3 Классификация волокон по профилю показателя преломления	29
1.3.4 Классификация специальных типов волокон	29
1.4 Дисперсия	30
1.4.1 Модовая дисперсия	30
1.4.2 Поляризационно модовая дисперсия	30
1.4.3 Классификация волокон по характеристике дисперсии	32
1.5. Методика оценки показателей ошибок на основе BER	32
1.5.1 Использование вероятностных оценок BER-BEP	33
1.5.2 Маска BER	34
1.5.3 Процедура расчета показателей ошибок на основе ES и SES	36
2 Постановка задачи	41
2.1 Анализ программного обеспечения	41
2.2 Проектирование канала в OptiSystem	41
3 Экспериментальная часть	45
3.1 Исследования влияния различных факторов на качество передачи в волоконном световоде	45
3.2 Исследования влияния различных факторов на качество передачи в технологии DWDM	48

4 Теоретический расчет влияния некоторых факторов на качество передачи в волоконном световоде	50
4.1 Расчёт коэффициента затухания	50
4.2 Расчёт хроматической дисперсии одномодового волокна	53
4.3 Расчёт дисперсионных характеристик передачи на регенерационном участке	54
Заключение	56
Список литературы	57
Приложение А Модель канала связи	59
Приложение Б Глаз диаграммы	60

Введение

В современных условиях страны с развитой инфраструктурой все больше переходят на волоконные оптические линии связи. Это связано с тем, что наиболее высокую скорость передачи данных на сетях телекоммуникаций сейчас может обеспечить лишь оптическое волокно. С расширением полосы пропускания, а также использованием широкополосного доступа в Интернет, на рынке услуг появилось огромное количество новейших технологий и предложений от компаний операторов. В свою очередь это способствует стимулированию и динамичному росту трафика, и количеству подключенных абонентов. Только внедрение передовых технологий и переход к волоконной оптике на всех уровнях построения сети (от магистральных узлов до участка доступа) предоставит возможность расширить спектр услуг для конечного пользователя с сохранением прибыльности проекта в целом компании-провайдера.

В настоящее время рынок телекоммуникационных услуг является одним из наиболее активно развивающихся секторов экономики Казахстана. Строительство корпоративных сетей связи коммерческих и государственных структур, внедрение и расширение сетей хранения данных, либерализация рынка услуг дальней связи - все это требует наличия надежных и высокоскоростных линий связи различного назначения.

Развитие волоконно-оптических линий, и внедрение их во множестве развитых стран привело к повышению и ужесточению норм качества передачи, повышению надежности и эффективности в целом всей системы связи. Современные производители, с выпуском новейших цифровых систем и оптоволоконных кабелей, с каждым годом совершенствуют методы производства, тем самым поднимая их на новый уровень применения и улучшения параметров работы приемо-передающего оборудования.

Исследования в современных оптических системах передачи нацелены на достижение следующих факторов: повышение пропускной способности оптических линий связи различного назначения, увеличение длины регенерационных участков сети. Решение этих задач возможно благодаря применению оптических солитонов и исследованию особенностей распространения солитонов в различных типах волокон, оценке влияния совокупности факторов и явлений на повышение скорости передачи в ВОЛС, особенностей теоретического расчета затухания сигнала в линии. Таким образом, данная тема исследований является актуальной в современных телекоммуникациях, перспективы развития которых, напрямую связаны с волоконной оптикой.

Практическая значимость

Волоконная оптика и оптоэлектроника находят широкое применение при построении всех уровней сетей электросвязи: магистральных линий междугородной и городской связи, сетей доступа и структурированных кабельных систем. Ввиду важности задач, решаемых с их помощью, к повышению скорости передачи в таких системах предъявляются очень

высокие требования. Нахождение оптимальных решений при проектировании конечных узлов и промежуточных станций является актуальной задачей. Поскольку эта задача может быть решена с помощью различных подходов, выбор наиболее эффективного способа — как с технической, так и с экономической точки зрения — имеет исключительно важное практическое значение.

В этой связи, моделирование процессов в программной среде для построения оптимальных линий с требуемыми техническими характеристиками является наиболее разумным решением данной задачи.

На сегодняшний день, самая высокая теоретическая емкость по одному волокну достигла петабитного барьера. Это позволит сразу 100 млн. абонентам смотреть видео по запросу (VoD) с высоким разрешением. Поэтому разработка перспективных волоконно-оптических линий связи с минимальными потерями при распространении сигнала и повышение пропускной способности различных участков сети имеет важное практическое значение.

Цель работы и задачи исследования

Целью магистерской диссертации является: исследование влияния различных факторов на качество передачи в волоконно-оптических линиях связи методом имитационного моделирования. Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

- анализ программного обеспечения для моделирования и выбор оптимального продукта;
- моделирование канала ВОЛС в среде OptiSystem в различных исходных условиях;
- исследование технологии WDM методом имитационного моделирования в OptiSystem;
- анализ результатов исследования и выбор рекомендаций.

1. Особенности проектирования современных волоконных оптических линий связи

1.1 Оптическое волокно как среда передачи

В глобальных системах связи (ГЛС) для передачи сигнала используется различные среды: радиозфир (в радиосистемах, например РРЛ), медные провода и кабели, оптоволоконные кабели (ОК). Из них в ГЛС и СТОП (системная телефония общего пользования) в последнее время все большее распространение, по крайней мере на магистральных участках получают ОК. Это вызвано определенными преимуществами ОК, основные их них:

- широкая полоса пропускания, позволяющая передавать цифровые агрегатные потоки со скоростью до нескольких десятков Тбит/с;
- низкий уровень затухания сигнала при распространении, позволяющий передавать сигналы без регенерации на расстояния до 640 и более км;
- низкая чувствительность к электромагнитным помехам, позволяющая прокладывать ОК в местах с высоким уровнем таких помех, в том числе использовать для этой цели ЛЭП (линии электропередачи) и опоры контрактной силовой сети железных дорог;
- практическое отсутствие собственных электромагнитных помех, позволяющее снять проблему электромагнитной совместимости ОК и других типов кабелей;
- возможность изготовления полностью диэлектрического ОК, позволяющая практически снять проблему грозозащиты, блуждающих токов и коррозии, а следовательно, повысить срок службы ОК.

Другие преимущества - малый вес и габариты ОК, его пожарной безопасности, а также сложность перехвата сообщений, передаваемых (в связи с снизить цены существенно ниже цен на медных кабелей), сделать их использование еще более привлекательным.

Если мы считаем, что скорость передачи SDH, основные технологии ГЛС вырос до 155 Мбит / с до 40 Гбит / с, а сеть SDH заменяется сегодня не только старый сеть РНД, и тысячи километров аналоговых сетей СТОП, становится понятно, почему сегодня, ОК - только перспективным СМИ сигнала на основных областях ВОЛС.

Они также все чаще используется в кабельных сетях и все чаще заменяют медные кабели от основной области применения - сети доступа и абонентских линий путем введения пассивных оптических сетей (ПОС/PON)

1.1.1 Физические понятия

В отличие от меди сигнал проводной носителя в оптическом волокне (ОС) не является электрический ток, и луч света, который распространяется в оптически прозрачной среде ОМ как балки или волны подчиняется законам оптики. Эти законы отличаются в зависимости от того в какой части - линейные или нелинейные оптика - они считаются. Свет, в соответствии с корпускулярно - волнового дуализма можно считать волны (и, следовательно, применять к нему законы классической, линейный или нелинейный, оптический) или как поток корпускул / частиц - фотонов [1]. Фотон является квантовый характер: мог родиться, чтобы быть поглощенными, превращается в другие частицы, повинуюсь законам квантовой механики (и, таким образом, на свет в этом случае следует применять законы квантовой оптики).

Чтобы понять особенности распространения света в линейном волновой оптики, достаточно вспомнить закон прямолинейного распространения света, закон независимости световых пучков, законов преломления и отражения света на границе и законы поглощения [1].

Для оптического прозрачной среде световой процесса распространения неотделима от процесса взаимодействия пучка с окружающей средой, учитывая, что луч света не легко, и электромагнитное излучение определенной длины волны, распространяющейся в этой среде. Его поведение в соответствии с законами электромагнитного взаимодействия и описывается волновыми функциями - решения уравнений Максвелла. В связи с этим, достаточно вспомнить такие понятия, как режим колебаний, поляризации, двулучепреломления, ослабления из-за рассеяния и поглощения, дисперсии и так далее, которые могут быть рассмотрены в обоих линейных и нелинейных волновых оптики.

В потоке фотонов, свет взаимодействует со средой распространения, в соответствии с законами квантовой оптики. Чтобы понять особенности взаимодействия, в данном случае, необходимо иметь в виду, что источник излучения в оптических системах, лазерное излучение, интенсивность которого будет значительно выше, чем у обычных источников света. Это приводит к необходимости учитывать не только квант, но нелинейные эффекты [1], такие как нелинейная рефракция фазы самомадуляции, кросс-фазовой модуляции, стимулировали рассеяния и некоторые другие нелинейные квантовые эффекты [2].

1.1.2 Особенности передачи в оптоволокне

Оптическое волокно, как правило, состоит из сердечника и оболочки. Они имеют разные индексы рефракции. Ядро при этом используется в качестве передающей среды, а оболочка используется для создания границы между ним и ядром между двумя качестве физической среды. Эта граница образует физический тип канала волновода - оптические волокна, для которых свет распространяется света, и - носитель передаваемого сигнала.

Волокно может быть стеклянной или пластиковой [3]. В настоящее время, как правило, используется ОВ, изготовленный из кварцевого стекла (SiO_2), имеющий по сравнению с другими очками минимальной ослабления на длинах волн, которые используются в сетях связи.

Из-за возможной путаницы Дайте определение "стекло". По определению "стекла под названием все рентгенографные тела (получено переохладения расплава ...), имеющий постепенное увеличение вязкости механических свойств твердых тел, и переход от жидкости к стеклу должен быть обратимым." В книге [4] Это определение формулируется следующим образом: "Стекло - квазиравновесия, изотропную структуру - неупорядоченная система с механических свойств твердых тел, таких как формы упругости среду, которые могут быть предметом продольных и поперечных упругих волн. ". Важно для нас является тот факт, что изотропный и отсутствие кристаллической структуры, а также возможность продольного и поперечных упругих волн. Изготовление волокна (грубо) происходит в 2 этапа [2]:

- изготовление цилиндрической заготовки с заданным профилем показателя преломления, например, методом химического осаждения из газовой (паровой) фазы - CVD;
- вытягивание заготовки в волокно с сохранением соотношений диаметров сердцевины и оболочки.

1.1.3 Оптические передатчики и усилители

Оптический передатчик для передачи цифровых сигналов по волоконно различных целей. Она состоит из источника когерентного света и промежуточного соединительного коаксиального между входом и оптическим выходом. С оптического передатчика выходной сигнал подается к ОМ.

Волоконно ОС (оптической мощности) Тип EDFA используется в качестве активной среды ОВ (оптическое волокно), легированного эрбием ионов. Они используются в волоконно-оптических связях для повышения оптической мощности или восстановить силы сигнала.

Преимущества ОУ является отсутствие преобразования оптического сигнала в электрический, одновременного усиления сигналов с различными длинами волн, что позволяет повысить мультиплексированный сигнал, почти точного соответствия EDFA рабочий диапазон минимального затухания оптического сигнала в ОВ , низкий уровень шума и легко включение в ВОЛС.

Оптические передатчики и усилители характеризуются следующими основными параметрами: диапазоне длин волн, необходимых прозрачности окна и необходимой выходной сигнал.

Диапазон длин волн, на практике, наиболее часто используется частота излучения окна 1530 для 1565nm. Это происходит частично из-за того, что окно прозрачности падает рабочий диапазон первых легированных эрбием

волоконных усилителей. В наше время, в сегодняшнем WDM-системы также использует окно прозрачности 1565 нм до 1625 нм.

Первые системы WDM имеют два канала в окнах 1330 и 1550 нм. Потом были четыре канала системы с разносом каналов 8-10 нм в окне 1550 нм. Последовавшая "гонка за лидерство" между разработчиками и производителями компонентов привело к развитию технологии WDM плотного волнового мультиплексирования DWDM (Dense WDM) и возникновение систем с 8, 16, 32, 64 каналов. В настоящее время стандарт разнос каналов 0,8 нм считается. Есть коммерческие системы с 192 каналами.

Таблица 1.1 - Окна прозрачности (Рекомендации ITU-T G.694.2)

Обозначение	Диапазон, нм	Название
O - band	1260...1360	Original (основной)
E - band	1360...1460	Extended (расширенный)
S - band	1460...1530	Short wavelength (коротковолновой)
C - band	1530...1565	Conventional (стандартный)
L - band	1565...1625	Long wavelength (длинноволновой)
U - band	1625...1675	Ultra wavelength (сверхдлинноволновой)

Выходной уровень - отправная точка для расчета оптической волоконно-оптической бюджета. Именно этот уровень определяет количество подключенных приемников. При выборе передатчика / усилителя в соответствии с этим критерием не следует забывать, что уровень мощности и диапазон длины волны используемого определяет стоимость оборудования. Часто дешевле использовать различные технологии, которые экономят бюджет мощности, чем переплачивать за высокой выходной мощности передатчика. Кроме того, высокий уровень выходного приводит к появлению и укреплению различных нежелательных нелинейных явлений. Основной из них - ВРМБ (SBS), четыре волны смещение (ЧВВ) и фазовая модуляция (SPM). Наибольшее влияние на аналоговый сигнал TRI имеет параметр такой как возникновение порога SBS, при превышении резко увеличивает мощность отраженного сигнала, в результате чего потери мощности и фазовых искажений, в результате, прием ошибки цифровых сигналов модулируется QAM.

Возможность мультиплексирования сигналов в системах CWDM передатчик и DWDM. Эта опция позволяет сохранить количество агентов и используется для передачи в одном ОВ нескольких сигналов, каждый от его длины волны.

1.1.4 Линейный кодер и декодер

При передаче информации на дальние расстояния оптические линии специальных типов кодирования, объединенных термином "линия кодирования", то есть кодирование сигнала линии (не путать с кодировкой

аналогового сигнала с постоянным шагом квантования, и исправляющих ошибки кодирования - систематическое линейное кодирование).

В проводные линии связи часто используются квазитроичное линейное кодирование или линейное кодирование с помощью импульсов разной полярности, и, совсем недавно, многоуровневые сложные типы кодирования линии, характерные для DSL-технологий. Оптический интерфейс оптических каналов цифровых переключающих станций наиболее часто используется линейное кодирование двухуровневую.

Это связано с оптическими каналами, сложность получения линейности характеристики модуляции недорогих оптические передатчики и оптоэлектронные датчик линейности в оптических приемников прямого обнаружения, а также невозможность оптической передачи биполярных импульсов.

Для линейного кодирования в воспроизведении соответствовать следующим основным требованиям.- Непрерывная часть энергетического спектра сигнала, закодированного линейным кодом, должна иметь минимальную плотность на нулевой частоте, а также в низкочастотной и высокочастотной областях.

Ограничение спектра в области нижних частот вызвано двумя причинами. Первая из них связана с обеспечением возможности прохождения сигнала с минимальным искажением через усилители переменного тока в оптическом приемнике высокой чувствительности. (В линиях малой протяженности иногда применяют оптические приемники низкой чувствительности с возможностью передачи постоянной составляющей. При этом необходимость в специальном линейном кодировании отпадает).

Вторая причина заключается в том, что низкочастотные компоненты сигнала линии свободно проникают в интегрирующий усилитель в цепи обратной связи светового оптического передатчика и приводят к нарушения режимы работы системы стабилизации оптической мощности.

- Линейный код должен содержать информацию о тактовой частоте передаваемого сигнала и позволяют стабильный и легкий восстановления тактовой экстрактор в приемнике.

- Часть энергетического спектра линейного сигнала, отражая свои информационные изменения должны иметь низкий уровень находится в тактовой частоте (или кратные частоты), что, кодирование линия должна быть организована таким образом, что информационный сигнал имеет минимальное вмешательство в распределение часов.

- Желательно, чтобы основная часть энергии сигнала, закодированного линейного кода, была сосредоточена в сравнительно узкой части спектра, потому что, при прочих равных условиях, в более узком диапазоне, чем меньше сигнал искажается из-за ограничений полосы пропускания линейного пути ,

- Кодирование технологической линии не должна зависеть от статистических свойств передаваемого сигнала, и наоборот - линейное кодирование не должны навязывать никаких ограничений на передаваемое сообщение и должны обеспечить прозрачность сообщениями с любыми статистики.

- Для облегчения работы тактового экстрактора и ограничений энергетического спектра, линейный сигнал должен быть ограничен максимальным количеством последовательных нулей и единиц.

- Алгоритм линейного кодирования обеспечивает мониторинг вероятностных характеристик (ошибки) в линейном пути.

- Линейный код не должен привести к значительному распространения ошибки при декодировании.

- Линейный кодирования должна обеспечить *disparitetnost*, т.е. неравенство чисел "1" и "0" в кодовых комбинаций.

- Желательно, чтобы код был небольшой избыток, то есть отношение обеспечивает низкую скорость линии и начальную скорость цифрового потока.

- Остаток на кодирования кода линии должна быть близка к 0,5, то есть, в среднем вероятность появления в очереди в любой момент времени из нулей и единиц должно быть примерно равны.

- Систематическое дрожания и дрейфа должна быть низкой, что важно для того, чтобы условия труда оптического приемника.

- Реализация линейного кодирования не должны нарушать стабильность средней оптической мощности в соответствии со структурой любой из информационного сигнала в дискретном канале.

- Организация Линейный кодирования должна обеспечить простоту, надежность и низкую реализацию схемы затрат кодеров и декодеров.

- Использование линейного кодирования должны обеспечить совместимость с существующими кодов, применяемых на суставы и проводных АТС линий.

Есть много типов линейных кодов, отвечающих установленным требованиям.

Опишем такие основные виды кодов:

NRZ – not return to zero – основополагающий двухуровневый код без возвращения к нулю. Может быть как однополярным, так и двухполярным. При этом «1» передается положительным импульсом, а «0» - либо отсутствием импульса, либо отрицательным импульсом.

RZ – return to zero – основополагающий трехуровневый код с возвращением к нулю. При этом «1» передается переходом в центре импульса с +1 на 0, а «0» - переходом в центре импульса с -1 на 0.

ADI – alternate digital inversion – двоичный код с инверсией полярности сигнала на каждом втором двоичном разряде независимо «1» это или «0». В результате формируется двухполярный двухуровневый код.

AMI – alternate mark inversion – двоичный код RZ с инверсией на каждой «1». Может быть получен из кода ADI путем инверсии каждой четной «1». При нуле состояние импульса не меняется. Является двухполярным трехуровневым кодом.

CMI – coded mark inversion – двухуровневый код без возвращения к нулю, где каждая «1» ставится в соответствие к комбинации «11», либо «00» - инверсия четных единиц. А «0» – изменением полярности в центре каждого импульса, т.е. в соответствие ставится комбинация «01». Является разновидностью кода 1b2b.

HDB3 — High-Density Bipolar code of order 3 – двухполярный код высокой плотности порядка 3 – код с инверсией на “1”, в котором каждый блок “0000” заменяется на блок “000V” или “V00V”, где V – вставка импульса “1” выполняемая так, чтобы число V импульсов между последовательными V импульсами было нечетным. В результате формируется трехуровневый код.

Ввиду простоты реализации кодирующих и декодирующих устройств, а также высокого уровня дискретной составляющей спектра на тактовой частоте и связанной с этим несложностью ее выделения широкое распространение при построении линейных трактов низкоскоростных ВОСП получили коды типа двухуровневого двоичного линейного кода с изменением полярности без возвращения к нулю (CMI)

Пояснение работы кодера

Кодер функционирует следующим образом. *Входной NRZ-*кодированный сигнал поступает на вход «D» триггера D1.1 и записывается в триггер по фронту тактового синхросигнала, поступающий на вход «C». Если в триггер записан единичный элемент исходного потока, то на верхней по схеме вход элемента «ИЛИ» D2.1 с инверсного выхода триггера поступает сигнал низкого уровня, и разрешается прохождение тактового синхросигнала на счетный вход счетчика единиц – триггера D 1.2, реализующего деление тактовой частоты на два. При записи в триггер D1.1 нулевого сигнала прохождение тактового синхросигнала на вход «C» D1.2 запрещается. Кроме этого, сигнал с выхода D 1.1 поступает на нижний по схеме вход элемента «ИЛИ» D2.2 и на вход «D» триггера D4.2. С выхода элемента D2.2 сигнал подается на вход «D» триггера D4.1.

На входы «C» обоих триггеров D4 через инвертор D3.1 подается тактовый синхросигнал. Задержанный информационный сигнал записывается в триггер D4.2. Далее с выхода этого триггера сигнал подается на нижний по схеме вход элемента «ИЛИ» D2.4 и управляет поочередным, в зависимости от знака передаваемого символа исходного потока, прохождением на выход кодера через элемент D2.3 инвертированного синхросигнала или сигнала полутаковой частоты, перезаписанного в триггер D4.1.

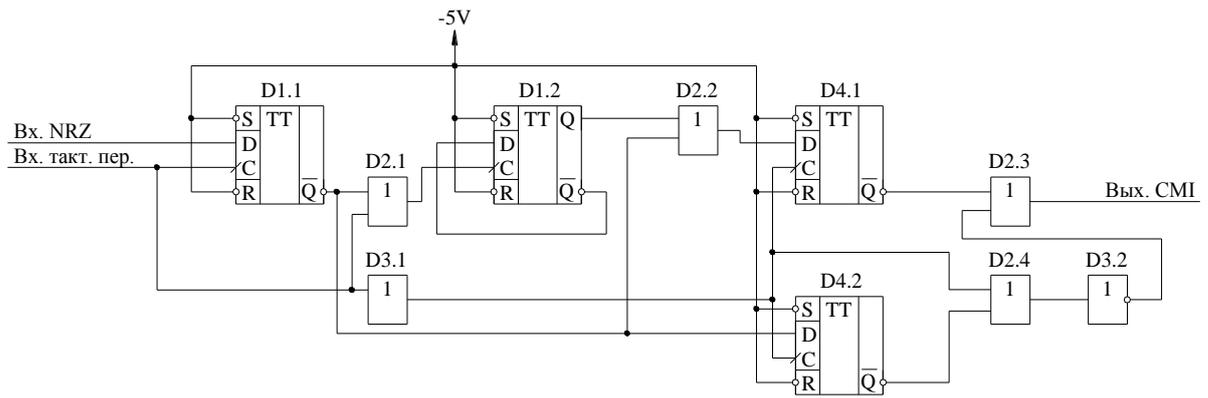


Рисунок 1.1 - Схема кодера

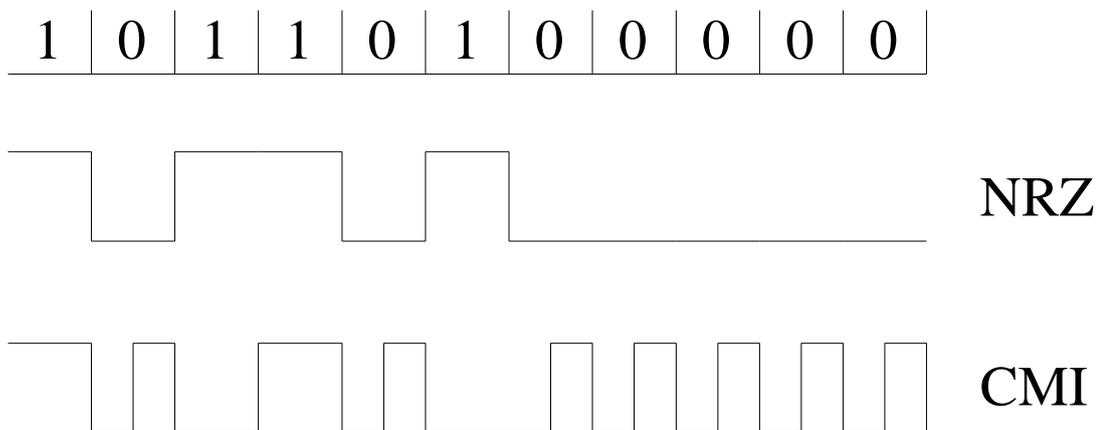


Рисунок 1.2 - Диаграмма кодера

Пояснение работы декодера.

CMI – кодированный сигнал из линии поступает на входы «D» триггеров D3.1 и по спаду в триггер D3.2.

Тактовый синхросигнал подается на входы триггеров через регулируемую линию задержки, устанавливающую правильные временные соотношения тактового синхросигнала, поступающего с выхода выделительного тактового сигнала через элементы D1.1 и D2.1 на входы «C» триггеров D3, и информационного сигнала, подаваемого с выхода решающей схемы приемника на входы «D» этих триггеров.

Элемент D1.1 компенсирует задержку тактового синхросигнала инвертором D2.1. Таким образом, в триггеры D3 производится запись следующих друг за другом пар битов сигналов, закодированного CMI – кодом. Выравнивание задержек тактового синхросигнала необходимо, так как при скоростях 32-34 Мбит/с задержки в логических элементах

сопоставимы с длительностью единичного элемента сигнала, передаваемого по линии.

Совпадение состояний выходов обоих триггеров D3 является признаком приема информационной «1» и регистрируется схемами «И-НЕ» D4.1 и D4.2 для комбинации 11 и 00 соответственно. Триггеры D5.1 и D5.2 регистрируют такие совпадения. Сигналы низкого уровня с выходов триггеров объединены посредством элемента 2И-НЕ (функция «ИЛИ»), чем и формируется выходной сигнал декодера

Тактовый синхросигнал, сопровождающий полученный на выходе декодера NRZ – сигнал, поступает на выход через элемент D1.2. Этот элемент компенсирует задержку сигнала на элементах декодера.

Нужно заметить, что декодеры СМІ являются одними из самых быстродействующих и в то же время чувствительных к нарушениям временных соотношений элементов оптического линейного тракта.

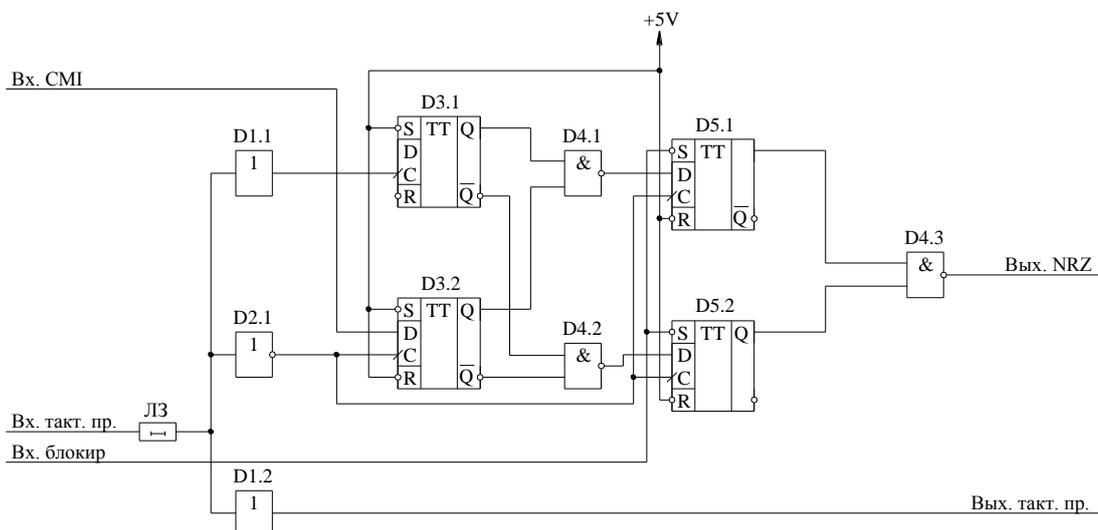


Рисунок 1.3 - Схема декодера

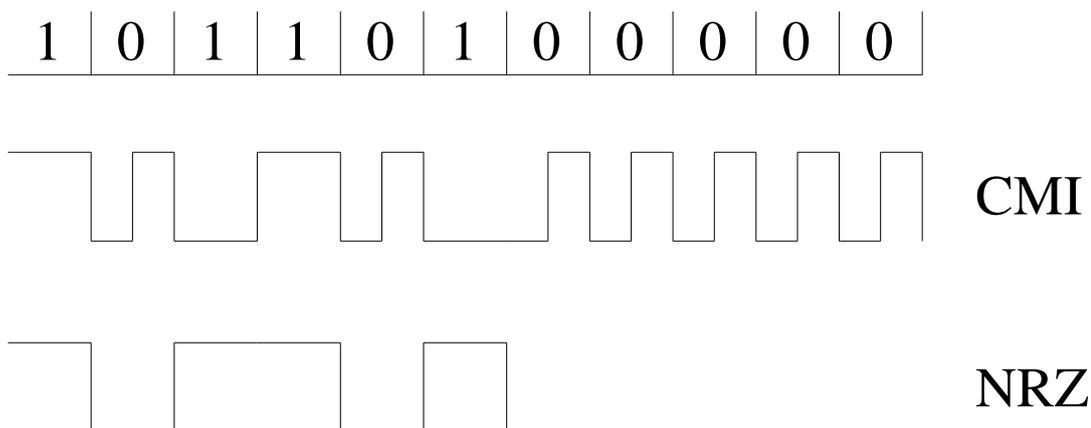


Рисунок 1.4 - Диаграмма декодера

1.2 Волновое мультиплексирование

Наряду с временным разделением оптических систем связи, используемых сегодня волны метод разделения мультиплексирования, где λ - мультиплексирования опционов. Он также призвал к короткой волны или волны мультиплексирования. Этот метод широко используется в волоконно-оптических связи с распространением технологии WDM [5].

Метод Wavelength Division Multiplexing объединения нескольких оптических носителях и передачи полученного суммарного сигнала $\sum \lambda_i$ одним ОВ с последующим выделением (демультиплексирования) из индивидуальных носителей, например, с помощью фильтрации λ_i приемной стороне не рисунок 5.

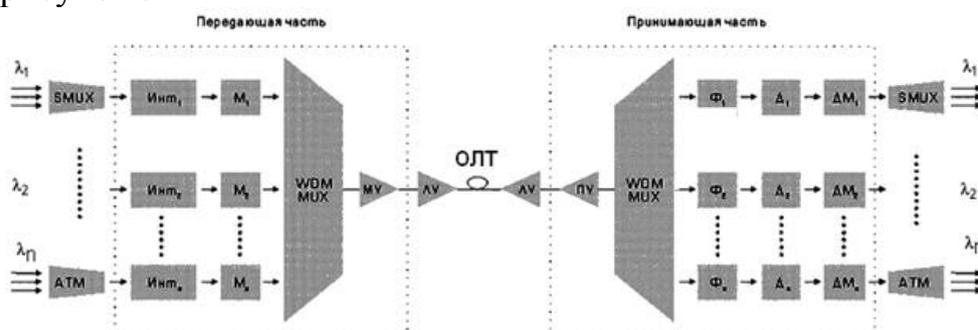


Рисунок 1.5 - Схема волнового мультиплексирования

Каждый носитель сигнала многоволнового в принципе может передавать цифровой сигнал, сформированный в соответствии с законодательством любой сетевых технологий, один - трафика АТМ или Gigabit Ethernet, а с другой - SDH, третья - PDH (что, конечно, в современных

системах связи являются не больше в использование) и так далее. Единственное, что вам нужно для этого - модулированный оптический носитель цифровой сигнал в соответствии с передаваемым трафиком, что в WDM системы нужно иметь входной интерфейс для сигналов сетевой технологии.

1.2.1 Проблемы увеличения пропускной способности ВОСП

В настоящее время длина асфальтированной всему миру стандартного одномодового волокна очень высока, поэтому многие владельцы к системам на их основе возникает вопрос о том, как модернизировать систему его способности отвечать современным требованиям. Одним из способов привлечения оптические технологии и строительство автомобильных дорог на основе технологии ALL-оптических сетей (PON), что позволяет значительно увеличить эффективность, гибкость и надежность сети и, самое главное, значительно повысить Объем без переоборудования существующих кабельных систем.

Чтобы увеличить пропускную способность ВОЛС может быть за счет увеличения скорости передачи в битах или путем добавления каналов на нескольких длинах волн, то есть построения системы, обеспечивающие WDM WDM (волнового мультиплексирования) или иным путем мультиплексирования длин волн. Ввод в эксплуатацию систем WDM диктуется экономическими соображениями, а гораздо дешевле заменить терминального оборудования, чем прокладывать новые кабели и установить дополнительные регенераторы.

Сущность WDM является то, что независимые информационные потоки оптического объединяются и передаются по одному волокну на разных длинах волн (рисунок 6). Это означает, что операторы могут увеличить мощность своего волокна без существенных капиталовложений, связанный со строительством или аренды новых волокон.

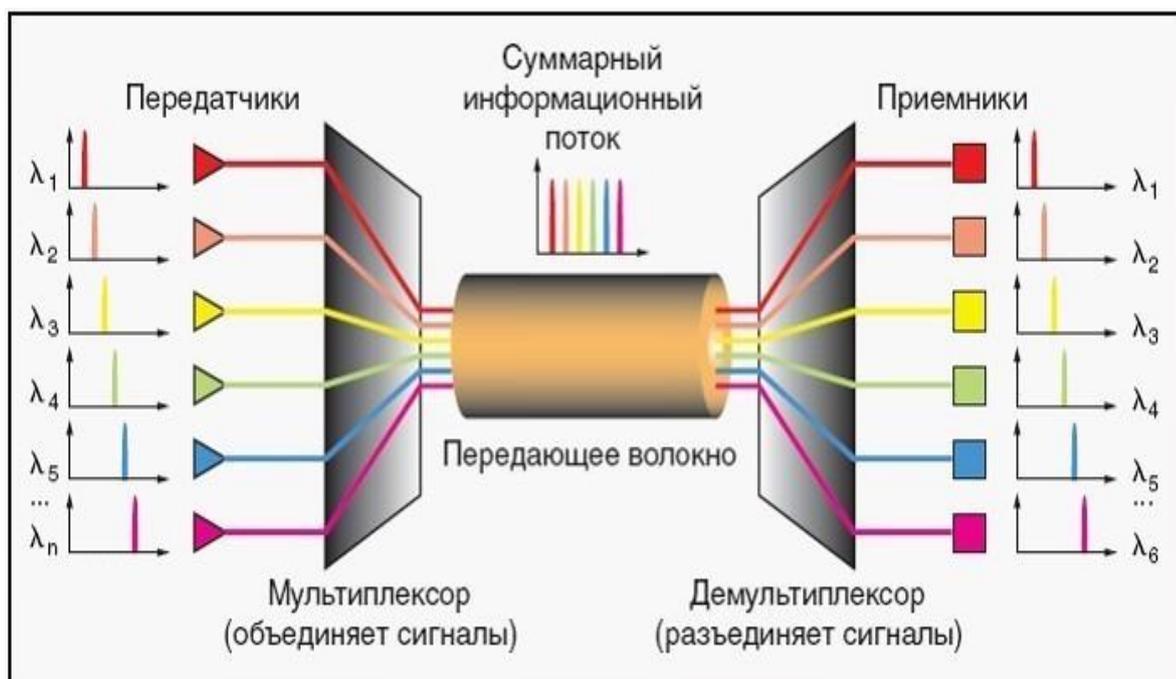


Рисунок 1.6 - Принцип передачи WDM

Мы оцениваем пропускную способность оптического диапазона 1280-1620 нм. Полоса частот в 2, 3, 4-м передачу окна; $F = 49,2$ ТГц. В интервале между каналами 100 ГГц канал 492 могут быть организованы. Если вы используете оборудование со скоростью передачи 2,5 Гбит / с на канал, общая мощность будет $V = 1230$ Гбит / сек и с использованием ставки 10 Гбит / с получил почти 5 Тбит / с.

Для строительства волоконно-оптических систем, технологии следующего поколения с использованием WDM, как нельзя лучше подходит новая волоконно-оптические с низкой дисперсией, обеспечивая множество возможностей для дальнейшей модернизации и эффективного использования пропускной способности. Например, часть каналов может работать посредством передачи аналогового видеосигнала часть - для передачи данных, а часть - для передачи речи. Распределение различных услуг в диапазоне длин волн, безусловно, имеет свои преимущества, и все больше и больше операторов начинают это понимать.

1.2.2 Классификация систем WDM

Схема расширенного частотного плана позволяет предложить следующую схему классификации, учитывающую современное состояние и тенденции:

- разреженные WDM - CDWM;
- обычные WDM - WDM;
- высокоплотные WDM - HDWDM.

Хотя до сих пор и нет точных границ деления между этими типами, можно предложить некоторые границы, основанные на исторической развитие практики систем WDM и рек. G.694.1 [5] и G.694.2 [6]. И так она будет называться:

- CWDM системы - системы с шагом по длине волны 20 нм, работающие в полосе 1271 - 1611 нм;

- WDM системы - системы с частотной шаге 200 или более носителей ГГц, мультиплексированных с 16 каналов в частотном плане;

- Системы DWDM - системы с частотой шага 100 и 50 ГГц, что позволяет любое количество мультиплексированных каналов в расширенном частотном плане;

- Системы DWDM - система с частотой шага 25 и 12.25 ГГц позволяет мультиплексирование любое количество каналов в расширенном частотном плане.

В настоящее время, WDM оптические системы играет ту же роль, что и частотным разделением каналов МЧР (FDM) для аналоговых систем. По этой причине их часто называют оптических систем с частотным разделением каналов (OFDM). Однако, в сущности технологии значительно отличаются друг от друга. Они отличаются не только в использовании оптических или электрических сигналов. В FDM механизм АМ используется модуляция с одной стороны полосы, а сигнал модуляции поднесущей системы с теми же - В.Ф. каналов [7]. С механизмом OFDM модуляции обычно не используется в качестве носителей генерируются отдельных источников, сигналы которых просто объединяются в единый сигнал мультиплексора несущих. Каждый носитель, по существу может передавать поток сигналов, сформированных в соответствии с законодательством различных технологий. Например, один носитель может передавать АТМ или Ethernet трафика, другой SDH, PDH-третьих, и так далее. Для этого оптического носителя модулируется в соответствии с линии кодом сигнала передачи.

1.2.3 Особенности разреженных систем WDM (CWDM)

Редкие система WDM, как указано выше, - систему CWDM, используя разреженный волны сетки - 20 нм. Они были предложены в качестве дешевой заменителей более дорогостоящих систем DWDM, когда потребность не более 16 - 18 каналов WDM. Они впервые начали применяться в городских сетях или сетях класса "метро", как они классифицируются в британских источников (т.е. сеть MAN - Metropolitan Area Network, позже стандарт IEEE 802.6).

Такой класс WDM систем стало возможным после того, как удалось удалить (или уменьшить) гидроксил или "вода", пик кривой затухания в области 1383 нм. В соответствии с рекомендациями G.694.2 [6] предлагается использовать носитель 18 с шагом 20 нм: 1271, 1291 1311 ... 1571 1591, 1611, т, общая пропускная способность требуется для них 340 нм. Естественно, затухание на краях такого широком диапазоне длин волн достаточно велико, это более заметно на левом краю. Поэтому, если в фокусе, например, для стандартного одномодового волокна, можно сказать, что плохо выровнены ослабления его полный спектр, как правило, ограничивается до уровня 140 нм. (1471 - 1611 нм) с числом 8 носителей.

Очевидно, что если вы хотите использовать несколько носителей, оставшиеся в CWDM систем, у нас есть, в соответствии с [6], 200 нм полосы, или 10 дополнительных каналов с шагом 20 нм. Альтернативой является возврат к системе DWDM, что дорого и приведет к потере уже вложенных средств в CWDM систем. Другой альтернативой, не ведет к потере инвестиций является использование гибридной модели частотного плана, который позволяет объединить CWDM частоты планы и DWDM и, следовательно, преимущества обеих систем: первый низкую стоимость и масштабируемость, то есть, возможность роста, второй [9], [16].

1.2.4 Гибридная модель частотного/ волнового плана.

Для простоты рассмотрим шаг план DWDM 100 Гц и CWDM, используют 8 каналов в диапазоне от 1471 - 1611 нм. На рисунке 3 показана как планы с указанием области кроссовера длин волн. В верхней части рисунка показаны плана DWDM приращенная 0,8 нм (полоса C) и пересекает регион, в нижней - план CWDM с шагом 20 нм, и позиционирует C и L полос Частотный план DWDM.

Известно, что [8], которая включает в себя C-диапазоне длин волн в диапазоне от 1528,77 - 1560,61 нм и L полосы - в диапазоне 1566,31 - 1612,65 нм. Эти полосы прийти в следующий 5-носителя план волна CWDM: 1531, 1551, 1571 1591, 1611 нм. С другой стороны, в полосе пропускания фильтра с одной несущей может вместить 8 CWDM DWDM полосу несущей из C [9]. Это свидетельствует о простой метод для формирования плана гибрид канала и первую стратегию расширения числа носителей:

а) планируется использовать волны CWDM 8 носители (одна тысяча четыреста семьдесят один - 1 611 нм).

б) с необходимостью расширить количество каналов является одним из CWDM каналов, взамен DWDM 8-канальный.

Тем не менее, эта стратегия имеет определенные недостатки. Во-первых, не все перевозчики DWDM точно попасть в полосе пропускания CWDM фильтры, часть (около 50%) находятся в переходном группа фильтров CWDM, во-вторых, сумма пропускной способности CWDM фильтры перекрываются с полосами и C L не полностью. По этой причине он не привык к такому замены подшипника 1471 1491, 1 511 и 1611 нм, а остальные четыре полосы фильтр 1,531 нм используется в части, учитывая, что граница полосы начинается от 1528,77.

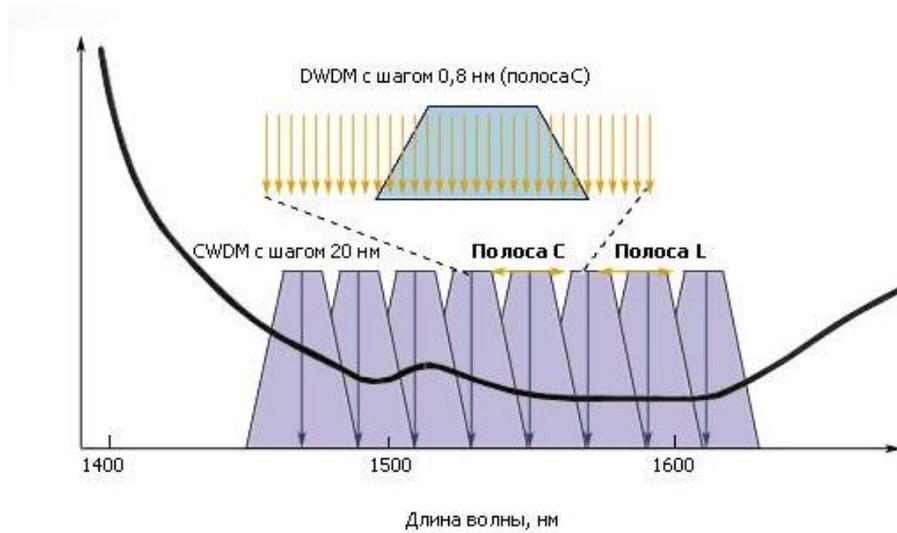


Рисунок 1.7 - Волновые планы CWDM и DWDM

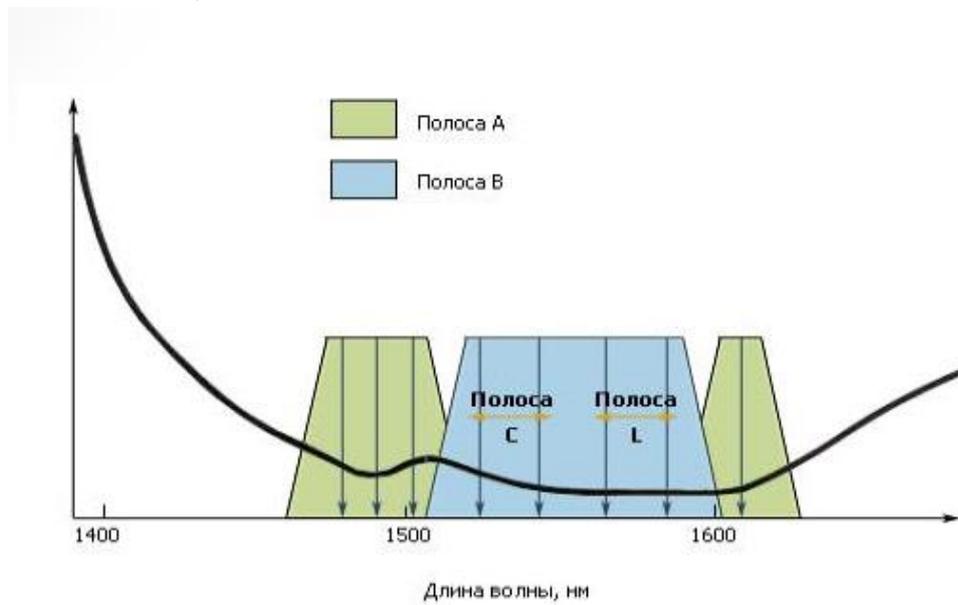


Рисунок 1.8 - Схема гибридного несимметричного волнового плана

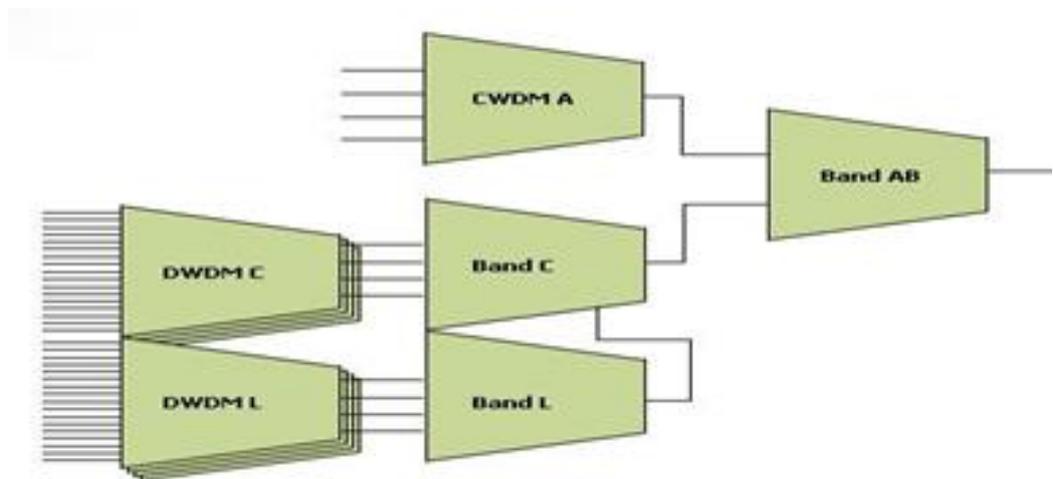


Рисунок 1.9 - Схема мультиплексирования каналов CWDM и DWDM

Это означает, что в первые 4 существенной стратегии, используемой длины CWDM и 4 заменяются о результатах в несимметричной схеме на рисунке 4, где сменный группа А состоит из 3 слева, неся в 1471, 1491 и 1511 нм и 1611 нм перевозчик 1 справа. Сменный полосы, а в пределах общего диапазона А + В. По расчету в [9], максимальное число каналов 32, которые затем приводит к общему числу каналов в четыре раза с 8 по 32.

Существует второй стратегия расширения числа перевозчиков. Это то же самое исходное выравнивание: 4 4 незаменимыми и сменный, но не с помощью носителей замены формирующего фильтра, и только освобождает их полосу, которая полностью меняется оборудование карты для этих каналов, и используется не только канал, но и полосовой фильтры DWDM. В результате, что полоса сменные четыре канала 32 могут быть сформированы в полосе канала с 32 и канал в полосе L, т.е. общее количество каналов, в этом случае могут быть 68 [9]. В этой схеме мультиплексирования может быть, как показано на рисунке 5, а именно 4 (CDMA-A) +32 (C-DWDM) +32 (L-DWDM).

Так гибрид альтернативный план частот следующим образом: 1471 1491, 1511 +32 полосы несущей проведения 32 C + L + полосы 1611 нм. **1.2.5**

Анализ альтернатив использования CWDM и DWDM

Далее кратко охарактеризуем указанные альтернативы.

Альтернатива полного использования систем CWDM: ширина спектра - 340нм, занимаемая область 1271-1611 нм включает 18 каналов с шагом 20 нм. Будучи наложенной на характеристику затухания ОВ, которым считается волокно SMF-28e компании Corning, получаем значения затухания в характерных точках приведенные в таблице 2.

Таблица 1.2 - Затухания стандартного волокна SMF - 28e (Corning) в характерных точках

Характерные точки	1270	1300	1310	1383	1550	1625
Затухания, дБ/км	0,36-0,38	0,35-0,36	0,33-0,35	0,31-0,35	0,19-0,20	0,20-0,23

Хотя вероятность увеличения затухания в районе пика ОН⁻ (пик поглощения, вызванной наличием ионной группы ОН⁻) мала, нужно иметь в виду, что три канала CWDM - 1371, 1391 и 1411 нм, лежащие вблизи от этого пика, могут потребовать индивидуальной подстройки коэффициентов усиления каналов в тракте ВОСП при реализации всех 18 каналов CWDM. Если исключить эти три канала, то мы ограничиваем свои возможности расширения семью каналами и максимальное общее число рабочих каналов составит 15, что для многих приложений может удовлетворить пользователей.

Альтернативная вернуться к системе DWDM, чтобы использовать максимально возможное число каналов было описано выше. Что касается потери инвестиций, то локальная или корпоративного использования и доступность О.Б., в котором можно развернуть DWDM, этого может не произойти. Тем не менее, в отсутствие свободной или относительной влажности с использованием играть в глобальной сети, принимая во внимание наложения CWDM DWDM и, поставщик услуг может потерять деньги, вложенные в реализации. Понятно, что для обоснования использования этого альтернативного применения должны требовать использования более чем 15 каналов DWDM.

Широко используется в телекоммуникационных сетях нашли альтернативное использование гибридной модели частотного плана. Как было показано выше, первый вариант позволяет увеличить число каналов в плане CWDM, а затем увеличить число каналов блоков 32 в соответствии с планом DWDM канала, через каналы в прозрачном окне, соответствующем С-диапазона, и группа Л.

1.2.6 Особенности систем WDM для городских сетей.

Системы WDM/CWDM широко используются сегодня для организации городских или корпоративных сетей в рамках больших городов или метрополий. Характерным для этих систем является:

- относительное небольшая длина пролетов (в среднем 15-20 км и не больше 50-70 км, или не больше 100-200 км по периметру замкнутой кольцевой сети);
- компактная структура, использующая кольцевую, радиально-кольцевую и ячеистую топологию;
- относительно небольшое число каналов (обычно 16-32, но не больше 64) на одно ОВ, позволяющее использовать как частотные планы DWDM, так и CWDM;
- Широкий набор интерфейсов для доступа в сеть WDM наиболее известных технологий - SDH, ATM, IP, Fast Ethernet, Gigabit Ethernet (GE) и 10 Gigabit Ethernet (10 GE);
- новые сервисы, стандартизированные для полностью оптических сетей (All Optical networks - AON): ввод-вывод оптических несущих [10,11], маршрутизация по длинам волн [14] и многопротокольная коммутация по длинам волн (MPLS/GMPLS) [15].

1.2.7 Перспективы использования WDM

Перспективы развития этой технологии связаны с тремя факторами:

- технологическим, сетевым и экономическим.

Первый фактор характеризует технологические усовершенствования элементов систем WDM. Он позволит:

- перейти на более плотную сетку частотного плана (25 и 12,5 ГГц), подготовив миграцию систем WDM в сторону систем HDWDM;

- увеличит максимальное число каналов в широко используемых диапазонах C, L и S [12];
- использовать отлаженные для этих диапазонов ОУ типа EDFA и пары EDFA-Raman;
- использовать оборудование SDH с увеличенной скоростью передачи на одной несущей 40-160 Гбит/с [13];
- использовать солитонную технологию передачи с возможностью увеличения дальности передачи и уменьшения чувствительности к PMD.

Второй фактор, определяющий развитие структуры сети DWDM. В настоящее время нет единой сети WDM. В Европе существует большой фрагмент такой сети в сети SDH-WDM компании Гермес Европа Railtel. Это означает, что вы не можете в полной мере воспользоваться одним из основных преимуществ систем WDM - возможность маршрутизации трафика потокового длина волны [14], не говоря уже о других, еще нереализованные, возможности пакетной маршрутизации трафика, состоящий из оптических пакетов, То же самое можно сказать и о невозможности использования технологии является Multi-Protocol длина волны переключения MPLS [15].

Третий фактор определяет стоимость систем WDM. Настало даже при использовании топологии точка-точка. Так по оценкам производителей WDM, раздел 16 длинной волны 450 км с тремя промежуточными мультиплексоров, не имея возможности оптического ввода-вывода должны быть стоит около 2 миллионов. Долларов (по оценкам 2009). Снижение затрат связано с переходом от длительного DWDM к системам CWDM, с учетом возможного использования мультиплексирования, демультиплексирования на основе дешевых пассивных фильтров и комбайнеров-раскольников.

1.2.8 Проблемы при реализации систем WDM

Проблема реализации WDM систем в основном определяется тремя факторами: влиянием ЧВС (четыре смещение), помех от соседнего канала и ограничение общей мощности светового сигнала, введенного в волокно.

Первый фактор. Его влияние успешно уменьшить, во-первых, благодаря использованию NZDSDF (волокна с нулевым смещенной дисперсией - G.655), во-вторых, неравномерное распределение несущих частот в полосе используется.

Второй фактор. Его влияние может быть уменьшено, во-первых, увеличение шага подшипника; Во-вторых, внешний модулятор, который снижает или расширения носителя, используя солитонов и метод модуляции с одной боковой полосой подавления - ОВР; В-третьих, с помощью процедуры *inerlivinga* (чередование каналов), в котором плотное множество p (в шагах s) волны несущей делится на приемном конце 2 или 4 набора в $p / 2$ с шагом носителей $2s$ или $p / 4$ *nesuschih*s шаг $4s$.

Третий фактор. Его влияние обусловлено тем, что максимальная мощность каждого оптического канала P_{chmax} (дБм) зависит от полной

оптической мощности, подаваемой с выхода транспондера на вход волокна P_{total} и числа мультиплексированных длин волн n .

$$P_{chmax} = P_{total} - 10 \lg n \quad (1)$$

Учитывая, что P_{total} ограничена или классом безопасного уровня излучения лазера, или допустимым уровнем суммарных нелинейных искажений в сердцевине ОВ, можно оценить по таблице 3, как меняется мощность в расчете на канал при изменении числа каналов. На практике она обычно ограничена для разных производителей оборудования WDM величиной 17 или 30 дБм.

Таблица 1.3 - Уровень максимальной мощности в одном канале WDM при равномерном распределении

Число каналов, n	2	4	8	16	32	64	128	256
$P_{total} = 17$ дБм	14	11	8	5	2	-1	-4	-7
$P_{total} = 30$ дБм	27	24	21	18	15	12	9	6

В таблице показано, что при большем числе каналов падение мощности может составить 21 дБ (против исходного уровня при 2 каналах), что может привести к проблемам в обеспечении нужного уровня BER в оптическом канале. Единственный способ борьбы с этим - увеличение эффективной площади сечения волокна, т.е. использование новейших достижений в технологии производства оптических волокон с минимальным затуханием.

1.3 Классификация типов промышленных оптических волокон

Оптическое волокно или световод - это гибкий и прозрачный цилиндрический стержень с поперечным сечением в форме круга. Он состоит из трех слоев: сердцевины (c), оболочки ($об$) и покрытия ($п$), показатели преломления которых соотносятся как $n_n > n_c > n_{об}$.

В системах связи ОВ является основной средой для передачи сигнала. Сигнал-модулированная по интенсивности световая волна-распространяется в основном внутри сердцевины диаметром от 6 до 62, мкм, а конкретнее по цилиндрическому волноводу, используя явления полного внутреннего отражения (ПВО) света от границы раздела "серцевина-оболочка".

Существует четыре основных параметра, по которым обычно проводят классификацию типов ОВ:

- по числу распространяющихся в них типов волн, или мод: многомодовое (ММ) и одномодовое (ОМ);
- по профилю показателя преломления: ступенчатый, параболический и специальный;

- по типу характеристики дисперсионного параметра D: SF(стандартное), DSF (со сдвигом нуля дисперсии), NZDSF (с ненулевой смещенной дисперсией) и ZWP (с нулевым водяным пиком);

- по знаку дисперсионного параметра D: для перечисленных выше типов ОВ он положителен в области рабочих длин волн, а у DCF - волокно для компенсации дисперсии D отрицательно, это ОВ специального типа используется в модулях компенсации дисперсии DCM.

1.3.1 Классификация многомодовых волокон

ММ волокна по профилю показателя преломления делятся на:

- волокна со ступенчатым профилем показателя преломления;
- волокна со сглаженным профилем показателя преломления, называемым также градиентным.

Кроме того они делятся на четыре класса в зависимости от материала ОВ [17]:

- класса А1: стекло/стекло, диаметр сердцевины/оболочка: 50/125, 62,5/125, 85/125 и 100/140 мкм;

- класса А2: стекло/стекло, диаметр сердцевины/оболочка: 200/240 мкм;

- класса А3: стекло/пластмасса, диаметр сердцевины/оболочка: 200/280 мкм;

- класса А4: пластмасса/пластмасса, диаметр сердцевины/оболочка: 980/1000мкм.

В системах связи используются, главным образом волоконно-класса А1. Учитывая относительно большое затухание ММ волокна, он используется при прокладке внутри объектов или на короткие расстояния до 1-2 км. В связи с этим, он является основным потребителем в линии связи (ЛС), а сеть связи ориентированной одномодового оптического волокна.

Кроме того, стандарт ИСО / МЭК 11801 определены три категории ОМ мм: оМ1, ОМ2 и ОМ3 и соответственно три класса ММ ОВ Канал: 300, 500 и 2000 широкополосной Несс другое значение. Максимум для данного класса параметром - OF 2000 позволяет ММ ОМ обеспечить гигабитный Ethernet дальность передачи 2 км.

Однако, поскольку многомодовых волокон имеют высокие значения ослабления, вызванных модальной дисперсии в современных телекоммуникационных сетях они не появляются. Таким образом, их дальнейшее развитие и исследования не имеет никакого отношения и практическое значение. Кроме того, система считается чрезвычайно диссертации одномодовое волокно с низким затуханием в этих окнах прозрачности.

1.3.2 Классификация одномодовых волокон

ОМ волокна обычно изготавливаются из кварцевого стекла имеют постоянный диаметр 125 мкм и диаметр сердцевины 7-9 мкм, но параметр нормируется диаметр поля моды, которые лучше всего характеризует потерю

света, поступающего в СQ и зависит от длины волны. Методы измерения этого параметра определяются ЕВРОПЕЙСКИЙ и американским стандартам. [18]

1.3.3 Классификация волокон по профилю показателя преломления

В профиле показателя преломления оптического волокна ОМ подразделяются на:

- Шаг индекс волокна ПП (показатель преломления);
- Индекс профиля волокна в виде специального типа трезубца простой треугольник на сегменты треугольник, треугольник на прямоугольном постаменте, W-образный профиль и профиль другого многоступенчатый;
- ПП Изменить профиль позволяет изменять положение точки нулевой дисперсии, наклона дисперсии и дисперсии значений в определенном диапазоне длин волн.

1.3.4 Классификация специальных типов волокон

В связи с развитием систем WDM и оптические усилители, используемого, а также ряд отдельных приложений, существуют специальные виды ОМ:

- Кварцевый ОМ для дисперсии компенсации: DCF-Компенсация дисперсии волокна-ОМ, используемых в специальных модулей компенсации дисперсии - MCD (модуль компенсации дисперсии) или DCM - дисперсии модуль компенсации;
- О.М. диоксид кремния, легированный эрбием - EDF - легированных эрбием волокна - О.Б., тип ОС используется в EDFA - легированных эрбием волокна усилитель-(эрбиевый оптический усилитель);
- О.М. кварца, легированного неодимом - NDF - Neodim-Dopped-волокна - О.Б., О.Б. использовали легированный неодимом - NDF- Neodim-Dopped волокна - О.М., используется в типа ОУ NDFA - Neodim-Dopped волокно усилитель (неодим оптический усилитель) ;
- Поддержание волокна состояния поляризации - PMF-волокон с сохранением поляризации - ОМ, используется в ряде волоконных датчиков, требующих сохранения состояния поляризации, но на сетей связи не используется;
- Относительной влажности в течение кварцевые УФ-спектра (например, относительной влажности используется в диапазоне 190-250 нм для различных целей);
- Волоконно-брэгговской - ОМ кремнезема с большой площадью поперечного сечения сердечника (с диаметром сердцевины 300-800 мкм, чтобы сформировать световых потоков высокой яркостью и мощности при измерении и транспортировки высокая мощность лазерного луча);
- Фотонный кристалл волокно - О.М. базе технологии фотонных кристаллов - ФКП (ФКП-фотонного кристалла волокна) - новый фотонный кристалл волокно, имеющее ряд интересных свойств

1.4 Дисперсия

Под дисперсии оптика понять зависимость фазовой скорости световых волн v_f частоты [19]. То же самое относится к показателю преломления $N = N(Q)$. В этом смысле, дисперсия объемной среды является уникальным и имеет имя в оптике хроматической дисперсии, (CD), подчеркивает тот факт, что при разложении света на составные в хроматической спектра. Дисперсия называется нормальной (или положительный), когда n возрастает с частотой ω , и ненормальное, если n уменьшается с увеличением ω . Фазовая скорость w (или X) для нормальной и аномальной дисперсии - обратный.

Концепция дисперсии в ОВ не является уникальным, и надо различать три типа:

- Режим дисперсия - дисперсия, что существует только в ММ и О.Б. вызвано изменением скорости распространения лучей CQ с различными режимами, которые достигают выход волокна отсечку в разные времена, что приводит к расширению входного импульса на Выход волокна при одновременном снижении его амплитуды;

- Дисперсия Материал - дисперсия собственный материал О.Б., существующие независимо от типа волокна (ММ или ОМ) и характеризуется хроматической дисперсии только потому, что соответствует волновода среды;

- Волновод дисперсии - дисперсия, которая существует в так называемом волновода, образованного в среде данном случае сердцевины и оболочки.

1.4.1 Модовая дисперсия

Модовая дисперсия может быть минимизирована двумя путями:

- уменьшением диаметром сердцевины d_c ;
- изменением профиля показателя преломления (как было описано выше, для целей компенсации модовой дисперсии), то есть использованием ММ ОВ с плавно изменяемым показателем преломления, так называемым градиентным ММ ОВ.

1.4.2 Поляризационная модовая дисперсия

ОМ ОВ имеет уникальный моды HE_{11} (гибридный режим). Если мы рассмотрим поляризацию, этот режим фактически состоит из двух взаимно ортогональных линейно - поляризованных мод, распространяющихся одновременно [20]. Один из них (доминирующего) распространяется в горизонтальной плоскости вдоль оси x , другой - в вертикальной плоскости - вдоль оси y . Для идеального цилиндрической волокна точной геометрии скорости распространения ортогональных мод одинаковы, то есть, нет задержки один ортогональный компонент сигнала относительно другого, и дополнительное диспергирование не происходит.

В реальной ситуации, волокно не является совершенным, из-за, наличие стрессовых состояний, возникающих в процессе производства и свинца, например, для поперечного сечения эллиптичности, *antiizotropnosti* свойств и

двулучепреломления. Асимметричное стресс способствует возникновению двулучепреломления может произойти во время намотки волокна на оправку или во время прокладки кабеля. Это может привести к деформации волокна или нарушению его поперечную симметрию, или привести к удлинению волокон и изгибе.

Все это вместе приводит к двулучепреломления и, как следствие, к изменению показателя преломления осей x и y , и, следовательно, к относительной разности в скорости распространения этих режимах. Доминирующей мода распространяется быстрее, наоборот, в результате, дополнительная дисперсия δt , называется PMD (рисунок 10).

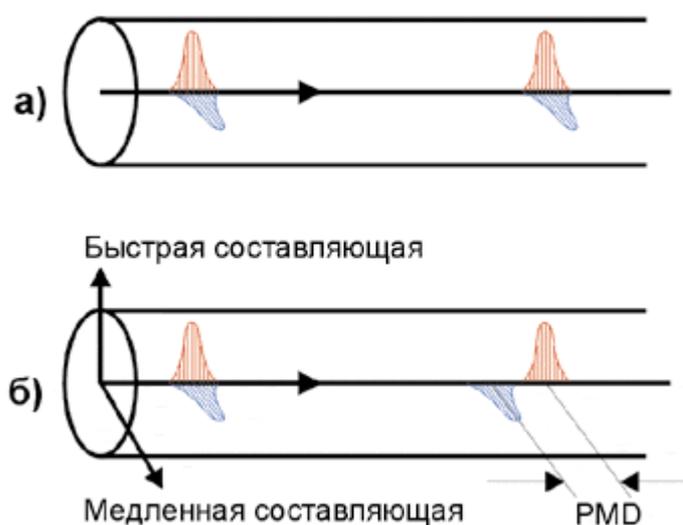


Рисунок 1.10 - Схема возникновения PMD

Ситуация осложняется тем, что обычно О.Б. не сохраняет состояние поляризации, он случайным образом изменяется по длине ОВ. Если волокно сегмент и предполагают, что различные сегменты имеют разные ориентации осей двулучепреломления местного и таким образом делает время задержки распространения в ортогональных мод, пульс, как правило, испытывают статистической расширение во времени, что является результатом PMD [20].

Во время прохождения светового импульса вдоль оптического является плавное увеличение уровня PMD, измеряется в пс. Когда длина пролета / секции больше, чем длина режимов взаимодействия, PMD обычно определяется по следующей формуле:

$$\tau_{PMD} = k_{PMD} \sqrt{L} \quad (2)$$

где k_{PMD} - коэффициент удельной, на 1 км PMD, единица измерения пс/ $\sqrt{\text{км}}$,

L - длина ОВ в км.

Для волокна, остаточная дисперсия может быть скомпенсирована различными способами, но пока не существует наиболее действенных способов компенсации PMD, кроме ужесточения производственных

допусков на некруглость сердцевины. Поэтому прослеживается тенденция для систем дальней связи ограничивать τ_{PMD} величиной, равной 0,1 от величины битового интервала $T_{бит}$ [20], а точнее от длительности импульсов. Эти ограничения можно пересчитать на коэффициент k_{PMD} , тогда:

$$k_{PMD} < 0,1 T_{бит} / \sqrt{L} \quad (3)$$

$$k_{PMD} < 0,1 \left(\frac{\tau_i}{T_{бит}} \right) / (v \sqrt{L}), \quad (4)$$

где τ_i - длительность импульса в интервале $T_{бит}$,

$\tau_i / T_{бит}$ - величина, обратная скважности, которая может меняться от 0,25 до 1;

v – скорость битового потока.

Итак, влияние PMD может расти в связи с увеличением:

- длины пролета или секции;
- скорости передачи в канале, когда уменьшается битовой интервал;
- скважности (для NRZ она равна 1, для RZ – 2,.. 4);
- числа каналов (при использовании DWDM).

1.4.3 Классификация волокон по характеристике дисперсии

Профили показателя преломления определяют не только уровень и характер изменения дисперсии, но и тип одномодового волокна. Как правило, выделяют 3 типа профилей [21]: для ОВ сдвига дисперсии, со сдвигом нуля дисперсии в третье окно прозрачности и с выравниванием дисперсии. В соответствии с этим ОМ ОВ делят на:

- стандартное ОМ ОВ, или ОВ с несмещенной дисперсией (SF - стандартное ОВ, SMF или SSMF-стандартное ОМ ОВ);
- ОМ ОВ со смещенной точкой нулевой дисперсии (DSF-называют "ОВ со смещенной дисперсией"), позиция "0" дисперсии смещает в точку ~1550 нм;
- ОМ ОВ с ненулевой дисперсией в точке, где у DSF расположен "0" дисперсии, но с "0" дисперсии, смещенным в области 3-го окна (NZDSF-называется "ОВ с ненулевой смещенной дисперсией"), оно имеет небольшую и медленно растущую дисперсию в диапазоне рабочих длин волн ОУ EDFA.

1.5 Методика оценки показателей ошибок на основе BER

BER (Bit Error Rate) - это коэффициент ошибок, отношение количества ошибочно принятых битов к их общему переданному числу.

QoS (Quality of Service - качество обслуживания) - это вероятность того, что сеть связи соответствует заданному соглашению о трафике, или же, в ряде случаев, неформальное обозначение вероятности прохождения пакета между двумя точками сети.

Оценить ошибки передачи, используя два метода расчета ошибки:

- Первый способ основан на режиме канала мониторинга ошибки QoS (измерения / тестирования при отключенном служб) и использует SRP (псевдо) случайная последовательность блоков определенной длины и скорости передачи, измеренной по количеству блоков в секунду;

- Указанный второй метод основан на мониторинге ошибок в режиме канала ISM (измерение / инспекции без прерывания обслуживания), и использует фактическую последовательность длинных блоков, которая зависит от процедур обнаружения ошибок и скорости передачи, определенных службой.

Есть ряд проблем, в оценке параметров систем связи ошибок, генерируемых при наличии этих двух методов.

Первый способ позволяет легко проверить параметры ошибки с помощью имеющихся средств - BER-тестера. Он широко используется в CAS (солитон сети связи) и радио (реле радиоканалом). Для них ставка $BER \leq 10^{-6}$ является мерой производительности канала. Тем не менее, этот метод практически никогда не используется для оценки наземных волоконно-оптических ссылок как значения BER, полученные мало говорят об истинном уровне ошибки в разработке канала связи.

Второй метод дает более реалистичные показатели эффективности каналов, которые легко контролировать на волоконно-оптических системах SDH и WDM, так как они имеют встроенную систему управления монитора.

Простой и часто предлагается выход - считая некоторые показатели в других, не работает, потому что нет детерминированных функциональных отношений между двумя типами показателей, используемых в этих методах.

В этой ситуации есть два пути:

- Первый - полностью перейти на второй методике, в том числе и SSA PPL;

- Второй - для получения характеристик стохастических процессов, происходящих в измерениях и использовать экстраполяцию результатов модели путем введения новой вероятностной оценки, чем BER.

1.5.1 Использование вероятностных оценок BER - BER

Учитывая провал первого метода, рассмотрим возможность второго метода.

Современные методы оценки показателей качества передачи предлагают использовать практически одну точку производительности типа BER, и многоточечной производительности BER - вероятность ошибки на бит - бит ошибки. Если КОБ - это относительная частота (в терминологии теории вероятностей) и дал одну точку или гистограммы среднее значение BER, КОБ вероятность которых может быть аппроксимирована несколько характерных точек интервала T, формирование многоточечных масок.

Методика что ошибка управляется с помощью того же BER-тестер во многих точках, но не BER значения гистограммы усредняются, и формируется на основе функции распределения BER (T) экспоненциального типа. Тогда НПД (τ) является кусочно-линейной аппроксимируется с

помощью нескольких точек. График подключения этих точек, и соответствует так называемой маски НПД.

Если фактическая маска НПД, формируется на основе измеренного гистограммы BER, не превышает контрольные точки в нормированных значениях НПД является частота ошибок в каналах передачи цифровой отвечает требованиям рек. G.821 / G.826.

Если такой набор характерных точек, чтобы построить вероятностный математическую модель BER и идентификацию его параметры в соответствующих оценок ES (секунд с ошибками) и SES (пораженные ошибками секунды) [22,23], мы можем получить отношения связывая вероятность определенных ES и SES по НПД и число битов в блоке, используя в качестве теста - N_B .

Если такое быть в состоянии делать то, что мы можем предположить,:

- Во-первых, в будущем акцентом на показателях, соответствующих второй процедуры оценки, где они используются, оставив только BER для предварительного тестирования канала;

- Во-вторых, временно рекомендуем использовать мульти-точки замаскировать вероятность битовых ошибок BER - для оценки параметров и ошибок ССС РРЛ, основанные на методе поставки в реках. МСЭ-R С. 1 060 [24], или реки. МСЭ-R S.614 [25].

Используя этот подход, вам нужно быть ясно, что КОБ - Этот абстрактный значение, в то время как BER - реальные поддающиеся измерению показатели.

1.5.2 Маска BER

Маска BER формируется так, что любой удовлетворяющий ее канал цифровой передачи одновременно удовлетворял и нормам рек. G.826 (для каналов E1 и выше) или рек. G.821 (для каналов 64 кбит/с).

Маска представляет собой некую нормированную функцию $BER/\alpha(T)$, где T - период времени эксплуатации (например месяц), имеющий наихудшие показатели, а α - параметр ошибок, соответствующий среднему числу ошибок в одном блоке на интервале T . Причем α зависит от статистики ошибок длины передаваемых CRC-/VIP - блоков (циклический избыточный код для контроля ошибок/честность чередующихся бит), схемы кодирования относительной скорости кодирования FEC (прямая/упреждающая коррекция ошибок) и наличия процедур шифрования [26]. Функция $BER/\alpha(T)$ (исходно экспоненциального вида) аппроксимируется по методу кусочно-линейной аппроксимации с тремя эталонными точками излома, ограничивающими модельные интервалы времени (полное T - стандартный интервал измерения составляет 100%): 0,2%; 2,0% и 10% (для $T > 10\%$ линейный сегмент параллелен оси времени).

Для расчета BER/α (таблица 4) используется определенная модель ошибок в рассматриваемом канале. Рассмотрим спутниковый канал связи. Характер ошибок в таком канале - пакетный, а средняя длина пакета ошибок

на длину блока, выбираемого в зависимости от стандартной скорости передачи, равна α . Предполагается, что ошибки распределены по закону Пуассона или по закону Неймана с последствием [25]. Для модели вычисляются вероятности $P_{ESi, P_{SESi}}$, а затем вычисляются величины

$$ESR = \sum P_{ESi} \Delta t_i \quad (5)$$

$$SESR = \sum P_{SESi} \Delta t_i, \quad (6)$$

где суммирование берется по всем модельным интервалам времени. Формула привязки BER/α и указанных показателей может иметь вид, приведенный ниже для чистоты иллюстрации (чтобы увидеть связь с CRC - Cyclic Redundancy Check - циклическим избыточным кодом для обнаружения ошибок):

$$P_{ES} = 1 - \exp(-nP_{EB}), \quad (7)$$

$$P_{EB} = 1 - \exp(-N_B * BER_{CRC}) \quad (8)$$

Здесь n - число стандартных CRC - тестируемых блоков в секунду (например, для E1 это 1000 при длине блока 2048 бит), а $BER_{CRC} = BER/\alpha$.

Маски для потоков на скорости 64 кбит/с и 2 Мбит/с приведены в таблице 4 [25].

Таблица 1.4 - Маски для потоков на скорости 64 кбит/с и 2 Мбит/с

Скорость	% от времени T	BER	BER/ α , $\alpha = 10$
64 кбит/с	0,03	10^{-3}	-
	2,00	10^{-6}	-
	10,00	10^{-7}	-
2048 кбит/с	0,20	$7 \cdot 10^{-6}$	$7 \cdot 10^{-5}$
	2,00	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-7}$
	10,00	$2 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-8}$

Величина BER/α получена практически идентичной для двух моделей распределения ошибок в структурированных кабельных системах. Что касается величина α , то ее оценка для потока 2048 кбит/с в соответствии с той же рекомендацией выбрана 10 по результатам испытаний Лаборатории Intelsat для кодеков с относительной скоростью кодирования 3/4 и скремблированием. Значимость этой оценки подтверждена в диапазоне значения BER $10^{-4} - 10^{-11}$.

Указанные в таблице 4 значения 2048 кбит/с получены для стандартного набора параметров ошибок, используемых в рек. G.826 для

диапазона скоростей от 1,5 - 5 Мбит/с, а именно: ESR=0,04, SESR=0,002, BBER=0,0003/0,0002. Эти расчеты показывают:

- во-первых, что указывать в Соглашении одно значение BER, например $2 \cdot 10^{-8}$, неправильно; логично проводить заданную таблицей маску с указанными опорными значениями BER;

- во-вторых, полученные в результате суточного мониторинга значения BER нужно распределять по указанным модельным интервалам времени (0,2%, 2% и 10%) что в случае суточного теста дает следующее допустимое распределение относительной ошибки BER при передаче потока E1:

- не хуже $7 \cdot 10^{-5}$ в течение 172,8 с. теста;
- не хуже $2 \cdot 10^{-7}$ в течении 1728 с. теста;
- не хуже $2 \cdot 10^{-8}$ в течении 8640 с. теста;
- лучше чем $2 \cdot 10^{-8}$ в остальной период времени.

Вывод о несоответствии испытываемой кабельной линии стандартам может быть вынесен только тогда, когда гистограмма фактического распределения параметра BER лежит выше модельного распределения, то есть укладывается в соответствии с параметрами таблицы 4.

Учитывая относительную новизну и сложность такого подхода, а так же несостоятельность процедур оценки состояния кабельных линий связи, основанных на измерении параметр BER с помощью BER-тестера с последующим приблизительным пересчетом его показаний в ES и SES, нужно признать, что более надежными оценками являются показатели ошибок на основе ES и SES.

1.5.3 Процедура расчета показателей ошибок на основе ES и SES

Из изложенного ясно, что основным при оценке показателей ошибок ВОСП должно быть измерение параметра BER, формирование на его основе маски BER и расчет показателей ошибок на основе параметров ES и SES.

Расчет параметров ES и SES и определение на их основе показателей ошибок RPO (эталонная норма показателей ошибок) и BISO (показатель оперативной нормы при вводе в эксплуатацию) осуществляется на основании следующих рекомендаций:

- для каналов 64 кбит/с и $px64$ кбит/с < E1 - по рекомендациям G.821 [22] и M.2100 [8];
- для каналов \leq E1 - по рекомендациям G.826 [27] и M.2100[28];
- для каналов PDH в целом - по рекомендациям M.2100 [28];
- для каналов SDH - расчет по рекомендациям M.2101 [29].

Из приведенного выше материала следует, что перед расчетом показателей ошибок нужно определить:

- тип канала/тракта (спутниковый или наземный);
- из каких участков состоит данный канал или тракт;
- какая скорость передачи используется на каждом участке;
- какая технология передачи используется на каждом участке;

- для какого интервала времени T рассчитывается указанная норма.

При расчете показателей ошибок, исходным является соответствующая относительная величина показателя ошибок ESR (коэффициент ошибок по секундам), SESR (коэффициент ошибок по секундам с серьезными ошибками) и BBER (коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками), выбираемая из таблиц, приведенных в указанных рекомендациях. Такой таблицей может служить таблица 5 [28]. Считается что долговременная норма, вычисляемая в режиме QoS с использованием ПСП, является приемлемой для тестирования тракта. Кратковременные оперативные нормы, вычисляемые в режиме ISM, приемлемы для наземных и в первую очередь международных ВОЛС. Они в два раза более жесткие, но сегодня широко используется для наземных систем благодаря тому, что автоматически мониторятся все современные сети в режиме ISM.

Таблица 1.5 - Долговременные и оперативные нормы для оценки качества передачи в сетях PDH

Тип канала/тракта	Скорость канала кбит/с	Долговременные нормы-параметры А			Оперативные нормы-параметры В	
		ESR	SESR	BBER	ESR	SESR
ОЦК	64	0,08	0,002	-	0,04	0,001
ПЦК/ПЦСТ	2048	0,04	0,002	$2(3) \cdot 10^{-4}$	0,02	0,001
ВЦК/ВЦСТ	8448	0,05	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$	0,025	0,001
ТЦК/ТЦСТ	34368	0,075	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$	0,0375	0,001
ЧЦК/ЧЦСТ	139264	0,16	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$	0,08	0,001

Примечание: ОЦК, ПЦК/ПЦСТ, ВЦК/ВЦСТ, ТЦК/ТЦСТ - основной (О), первичный (П), вторичный (В), третичный (Т), четвертичный (Ч) цифровой канал (ЦК) или цифровой сетевой тракт (ЦСТ).

Формально процедура вычисления параметров ошибок ES и SES по таблице 3 для одного участка достаточно проста.

- долговременная норма:

$$ES=A_{ESR} \cdot C \cdot T, SES=A_{SESR} \cdot C \cdot T; \quad (9)$$

- оперативная норма:

$$ES=B_{ESR} \cdot C \cdot T, SES=B_{SESR} \cdot C \cdot T. \quad (10)$$

Здесь: $T=900$ с. (15 мин), 7200с. (2ч.), 86400 с. (1 сутки), А и В (с соответствующими индексами) - коэффициенты в столбцах ESR и SESR для

строк, соответствующих используемой скорости передачи, а C - процент от соответствующей (суммарной) нормы, приходящий на данный участок тракта.

Хотя формально расчет очень прост, сложности начинаются уже при выяснении того, из каких участков состоит данный канал или тракт передачи и какой процент c_i суммарной нормы приходится на этот конкретный участок. Если таких участков n , то $C = \sum c_i$, где $(i=1,2,\dots, n)$.

Другие сложности в том, что $C = \Delta + \delta(L)$, где Δ -неделимая и не зависящая от L процентная часть (блок), выделяемая для данного участка (например $\Delta = 15\%$ для спутникового участка), а $\delta(L)$ -процентная часть, зависящая от L .

Так, сетевой тракт при работе через спутник состоит, как указывалось, из двух участков - спутникового и АЛ (абонентская линия, последняя миля), каждый из которых имеет свои значения c_i , тогда как общий показатель A зависит только от скорости. В этом случае формула для вычисления параметров ошибок приобретает вид:

– долговременная норма:

$$ES = A_{ESR} [0,15 + \delta(L)] \cdot T, \quad (11)$$

$$SES = A_{SESR} [0,15 + \delta(L)] \cdot T; \quad (12)$$

– оперативная норма:

$$ES = B_{ESR} [0,15 + \delta(L)] \cdot T, \quad (13)$$

$$SES = B_{SESR} [0,15 + \delta(L)] \cdot T. \quad (14)$$

В результате, кроме эталонной нормы показателя ошибок RPO (Reference Performance Objective), роль которой играет приведенная выше оперативная норма,

$$RPO = B \cdot C \cdot T, \quad (15)$$

появляется оперативная норма ввода в эксплуатацию:

$$BISO = k \cdot RPO, \quad (16)$$

где $k=0,5$.

Эта норма принимается за среднюю величину распределения вероятных значений показателей ошибок, для которой вычисляются дисперсия и доверительный интервал, то есть.

$$\delta = 2\sqrt{BISO} \text{ и } [BISO - \delta, BISO + \delta], \quad (17)$$

обозначаемый как $[S_1, S_2]$, $S_1 = \text{BISO} - \delta$, а $S_2 = \text{BISO} + \delta$.

По законам статистики оценка показателя S считается состоятельной, если она укладывается в доверительный интервал $[S_1, S_2]$. Здесь же норма рекомендует:

- считать тракт условно принятым в эксплуатацию, если $S \in [S_1, S_2]$;
- считать тракт принятым в эксплуатацию, если $S < S_1$;
- считать тракт не принятым в эксплуатацию, если $S > S_2$.

В таблице 6 приведены соответствующие значения оперативных норм и пороговых значений показателей ошибок S_1 и S_2 для каналов ОЦК (64 кбит/с) при суточном измерении для различных типов цифровых сетевых трактов и процентных блоков.

Таблица 1.6 - Значения оперативных норм и пороговых значений показателей ошибок S_1 и S_2

Тип канала или линии	Блок %	ES			SES			BER** (для справки)
		S_1	BISO	S_2	S_1	BISO	S_2	
Абонентская линия	15%	227	259	291	1	6	12	$< 2,6 \cdot 10^{-6}$
Местная первичная сеть	7,5%	107	130	152	0	3	7	$< 1,3 \cdot 10^{-6}$
Внутризоновая первичная сеть	7,5%	107	130	152	0	3	7	$< 1,3 \cdot 10^{-6}$
Магистральная сеть	20%	308	346	383	3	9	15	$< 3,5 \cdot 10^{-6}$

Выводы по главе.

В результате анализа теоретического материала можно сделать вывод об актуальности рассматриваемой проблемы. Для повышения пропускной способности магистральных и Метро-сетей широко применяется в современных условиях технология мультиплексирования по длине волны передачи (WDM). При этом возможности уплотнения большого числа каналов ограничиваются требованиями выходной мощности источника излучения и возрастанием негативного вклада нелинейных оптических явлений в процесс передачи в волокне. Для согласования требований провайдера по пропускной способности линии и качеству передачи в ВОЛС необходимо использовать современные типы волокон с небольшим затуханием и отрицательной или смещенной дисперсией. Также, при проектировании линии связи необходимо учитывать частотное планирование сети, которое далее напрямую связано с выбором волокна, источника

излучения и его мощности, типом линейного кодирования передачи, использования линейного усилителя с определенным «окном прозрачности»

Рекомендации по выбору оборудования и исходными данными его функционирования определяют факторы, влияющие на пропускную способность волокна и качество передачи в проектируемой линии связи.

2 Постановка задачи

2.1 Анализ программного обеспечения

Поскольку проведение исследований на физических линиях связи является неоправданным удовольствием, а установка макетов настоящих систем связи дорогостоящим мероприятием, в практике исследований широко применяется имитационное моделирование сетей и различных систем связи. В настоящее время существует множество программ для построения и тестирования волоконно-оптических линий связи. Для анализа были выбраны несколько программных продуктов различных спецификаций:

- Lab View;
- Math lab;
- OptiNet;
- OptiSystem.

Основным параметром для выбора необходимого программного обеспечения являются технические характеристики оборудования, канала передачи и системы связи в целом. Все рассматриваемые программы позволяют планировать, моделировать и тестировать различные каналы связи современных оптических телекоммуникационных систем. Конечно, Math lab – это классическая универсальная программа для моделирования любых каналов с различными заданными условиями. Возможности ее практически не ограничены. OptiNet применяется для имитации именно волоконно-оптических линий и широко используется в учебных целях.

Для выполнения исследований магистерской диссертации, была выбрана программа OptiSystem. На наш взгляд именно она содержит наибольшую библиотеку для моделирования отдельных линий и систем связи различных уровней в целом. Кроме того, она содержит полный набор инструментов активных и пассивных элементов для проектирования ВОЛС различного назначения и технологий передачи, в частности магистральных линий и сетей доступа, с использованием двунаправленных потоков передачи, а также, с применением различных технологий мультиплексирования. Возможности ее выходят далеко за рамки настоящего исследования. Также, немаловажным является факт, что программа имеет «дружественный» интерфейс и позволяет достаточно наглядно интерпретировать полученные результаты.

2.2 Проектирование канала в OptiSystem

Исходными данными для моделирования системы связи явилось: выходная мощность лазера, оптическое волокно с различным затуханием сигнала, окна прозрачности или длина волны излучения. Моделировали линию, протяженностью 100 км на скорости передачи 10 Гбит/с, что соответствует уровню передачи STM-64, широко применяемому на магистральных сетях Казахтелекома. В качестве линейного усилителя рассматривалось волокно, легированное ионами эрбия (EDFA), тем более,

что его рабочий диапазон совпадает с проектированием систем WDM в 3-ем и 4-ом окне прозрачности. Применяли классическое одномодовое волокно (SMF), которое широко используется при прокладке магистральных линий, с погонным затуханием 0,2 дБ/км. А также использовалось волокно, применяемое для проектирования технологии WDM и волокно со смещенной дисперсией (DCF) в качестве компенсатора дисперсии.

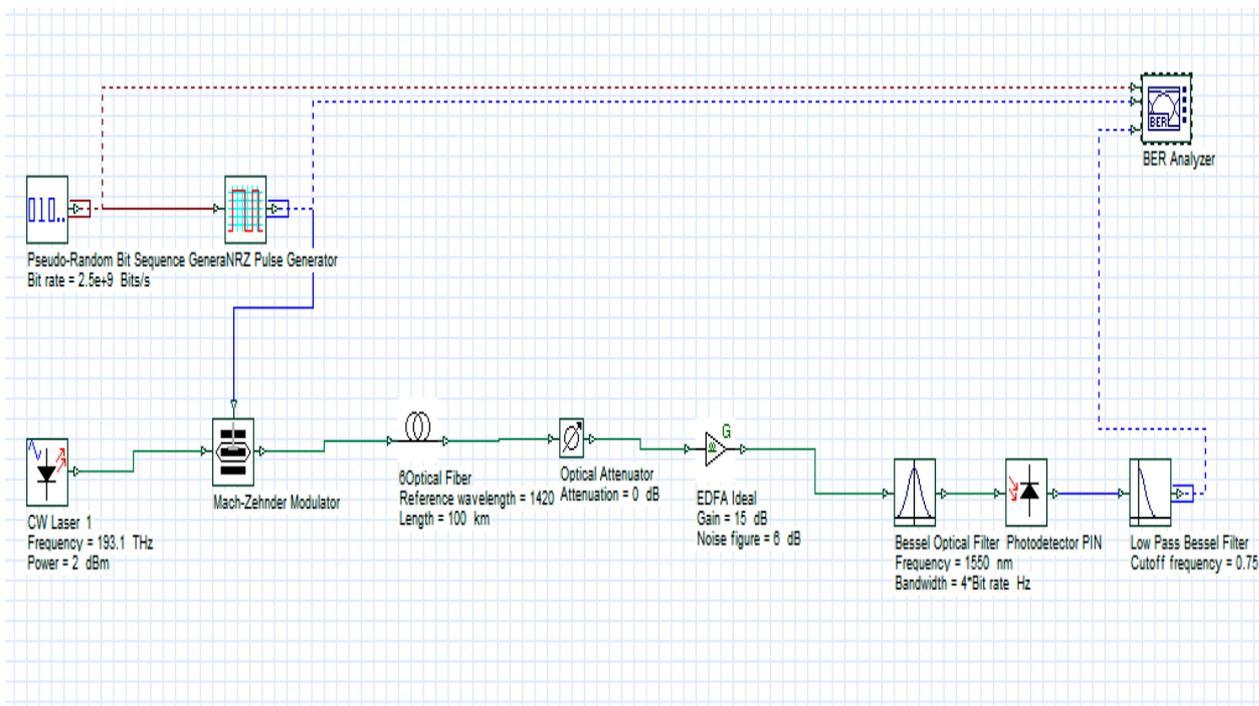
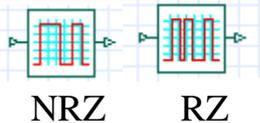


Рисунок 2.1 - Модель канала связи в программе OptiSystem

Линия состоит из генератора случайных последовательностей, генератора импульса (модулятор Маха-Цандера), одномодового лазера, модулятора, аттенюатора, линейного усилителя, оптического фильтра Бесселя, фотодетектора, низкочастотного фильтра Бесселя, BER анализатора. Для передачи сигнала в линии используется линейное кодирование NRZ и RZ задаваемое модулятором. В качестве линейного усилителя используется EDFA усилитель на примесном волокне. Поскольку усилитель увеличивает мощность не только полезного сигнала но и шумов, в качестве оптимального было взято усиление 15 дБ где шумы составляют 6 дБ. Качество передачи оцениваем по BER анализатору, который показывает количество ошибочно принятых битов и графическое изображение "глаз"- диаграммы.

Таблица 2.1 - Наименование компонентов

Название компонентов	Папка	Иконка
Генератор случайных последовательностей	Transmitters Library/Bit Sequence Generator	
NRZ / RZ импульсный генератор	Transmitters Library/Pulse Generator	
Одномодовый лазер	Transmitters Library/Optical Source	
Модулятор Маха-Цандера	Transmitters Library/Optical Modulator	
Оптоволокно	Optical Fibers Library	
Аттенюатор	Passives Library/Optical/Attenuator	
Усилитель EDFA	Amplifiers Library/Optical/EDFA	
Оптический фильтр Бесселя	Filters Library/Optical	
Фотодетектор	Receivers Library/Photodetector	
Низкочастотный фильтр Бесселя	Filters Library/Electrical	
BER анализатор	Visualizer Library/Electrical	

Генератор псевдослучайных чисел (ГПСЧ, англ. Pseudo random number generator, PRNG) — алгоритм, порождающий последовательность чисел, элементы которой почти независимы друг от друга и подчиняются заданному распределению (обычно равномерному).

Импульсный генератор – устройство генерирующее импульсы с определенной частотой следования и заданным временным интервалом.

Лазер – устройство, преобразующее электрическую энергию накачки в энергию когерентного, монохроматического, поляризованного и узконаправленного излучения. Для высокоскоростных линий связи в настоящее время используется одномодовый полупроводниковый лазер непрерывного излучения с диапазоном длин волн на основной моде, равном 0.1 нм.

Модулятор Маха-Цандера - это внешний высокоскоростной модулятор оптической несущей, на основе интегрально-оптических интерферометров Маха-Цандера.

Аттенюатор - устройство для плавного, ступенчатого или фиксированного понижения интенсивности электромагнитных колебаний, является мерой ослабления электромагнитного сигнала, но одновременно, его можно использовать и как измерительный преобразователь.

Усилитель – устройство, применяемое для увеличения мощности сигнала. В волоконно-оптических линиях рассматривается три разновидности усилителей: усилитель мощности (booster), линейный усилитель (EDFA, Raman), и предусилитель – на приеме. В данном исследовании представляло интерес применение линейного усилителя мощности.

Оптический фильтр Бесселя – устройство, используемое на приемной стороне для выделения полезного сигнала определенной частоты. Его групповая задержка практически не изменяется по частотам полосы пропускания, вследствие чего форма фильтруемого сигнала на выходе такого фильтра сохраняется практически неизменной.

Фотодетектор – полупроводниковый прибор, регистрирующий оптическое излучение и преобразующий оптический сигнал на входе в электрический сигнал на выходе фотодетектора. В качестве фотодетекторов широко используются лавинные фотодиоды, способные умножать полученный сигнал, с коэффициентом лавинного умножения близким к единице.

Низкочастотный фильтр Бесселя - электронный прибор, эффективно пропускающий частотный спектр сигнала ниже определенной частоты и необходимый для получения аналогового сигнала на приеме.

BER анализатор – устройство, показывающее количество ошибочно принятых битов в единице тактового интервала (bit period) при передаче данных.

3 Экспериментальная часть

3.1 Исследования влияния различных факторов на качество передачи в волоконном световоде.

Целью настоящего исследования явилось экспериментальное определение влияния различных факторов на качество передачи в волоконно-оптической линии связи.

В первой части исследования, представляло интерес отработать влияние выходной мощности лазера, длины волны передачи, типа волокна, способа передачи сигнала в линии связи (линейное кодирование) на качество передачи для единичного однонаправленного канала. Как было сказано выше, за основу был взят 10-гигабитный поток, а качество передачи оценивалось на расстоянии 100 км – условный ЭКУ для магистральных линий.

Для кодирования сигнала в линии, в работе рассматривалось два типа линейных кодов. NRZ – (not return to zero) – основополагающий двухуровневый код без возвращения к нулю на тактовом интервале. Он может быть как однополярным, так и двухполярным. При этом «1» передается положительным импульсом, а «0» - либо отсутствием импульса, либо отрицательным импульсом.

RZ – (return to zero) – основополагающий трехуровневый код с возвращением к нулю. При этом «1» передается переходом в центре импульса с +1 на 0, а «0» - переходом в центре импульса с -1 на 0.

В данном исследовании в качестве параметра оценивающего качества передачи волоконно-оптических линий связи взята оценка BER. Зависит от количества переданных битов. Например, длинная последовательность одинаковых символов может вызвать низкочастотную амплитудную модуляцию и детерминированное джиттер (нежелательные фазовые или частотные случайные отклонения передаваемого сигнала), следствием которых будет рост числа ошибок. Для волоконно - оптических линий связи согласно рекомендациям ITU-T величина BER не должна быть выше 10^{-12} .

В данной работе рассматривалось качества передачи данных при разной мощности лазера, при различных длин излучений и различные волоконно оптические кабеля при расстоянии 100 км.

При моделировании канала использовались следующие исходные данные:

1. Тип волокна: SMF и CWDM;
2. Расстояние: 100 км;
3. Мощность лазера: 2 дБм, 3 дБм, 4 дБм;
4. Длина волны: $\lambda=1420$ нм, $\lambda=1550$ нм, $\lambda=1620$ нм.

Таблица 3.1 - Результаты вычисления

	Волокно CWDM			Волокно SMF		
Линейное Кодирование RZ	Мощность лазера 2 дБм					
	1420нм	1550нм	1620нм	1420нм	1550нм	1620нм
	BER 10^{-9}	BER 10^{-7}	BER 10^{-8}	BER 10^{-7}	BER 10^{-8}	BER 10^{-9}
	Мощность лазера 3 дБм					
	1420нм	1550нм	1620нм	1420нм	1550нм	1620нм
	BER 10^{-10}	BER 10^{-15}	BER 10^{-12}	BER 10^{-10}	BER 10^{-10}	BER 10^{-13}
	Мощность лазера 4 дБм					
	1420нм	1550нм	1620нм	1420нм	1550нм	1620нм
	BER 10^{-15}	BER 10^{-13}	BER 10^{-19}	BER 10^{-14}	BER 10^{-17}	BER 10^{-18}
		Волокно CWDM			Волокно SMF	
Линейное Кодирование NRZ	Мощность лазера 2 дБм					
	1420нм	1550нм	1620нм	1420нм	1550нм	1620нм
	BER 10^{-7}	BER 10^{-7}	BER 10^{-8}	BER 10^{-6}	BER 10^{-7}	BER 10^{-10}
	Мощность лазера 3 дБм					
	1420нм	1550нм	1620нм	1420нм	1550нм	1620нм
	BER 10^{-10}	BER 10^{-9}	BER 10^{-11}	BER 10^{-8}	BER 10^{-11}	BER 10^{-14}
	Мощность лазера 4 дБм					
	1420нм	1550нм	1620нм	1420нм	1550нм	1620нм
	BER 10^{-14}	BER 10^{-12}	BER 10^{-19}	BER 10^{-15}	BER 10^{-16}	BER 10^{-19}

Объяснение результатов.

1. Влияние мощности лазера. При изменении мощности источника излучения от 2 до 4 дБм закономерно изменяется качество сигнала на приеме. Однако при повышении мощности сигнала в WDM системах, особенно с плотным мультиплексированием начинают проявляться негативные нелинейные оптические эффекты в волокне, такие как спонтанное комбинационное (рамановское) рассеяние, перекрестная фазовая само модуляция и четырехволновое смешение, когда в результате нелинейного взаимодействия излучения в волокне на двух и более частотах возникают сигналы с новой частотой. При равномерных интервалах между каналами новый паразитный сигнал может совпасть по частоте с существующими сигналами других каналов и тем самым привести к возникновению перекрестных помех. При неравномерных интервалах между каналами четырехволновое смешение приводит к дополнительным шумам на длинах волн, не используемых для передачи полезного сигнала. Это

происходит при достижении значения мощности сигнала 10 мВт. Следовательно, при дальнейшем проектировании WDM - систем с уплотнением по длине волны, нет необходимости увеличивать выходную мощность лазера.

Также, применение высокомошных лазеров влечет за собой повышение стоимости оборудования, что не всегда экономически оправдано.

Далее, в последующем эксперименте, будем использовать выходную мощность источника излучения равную 4 дБм, что соответствует 2,5 мВт на канал. Именно при этом значении величина BER соответствует рекомендациям ITU-T: от 10^{-12} до 10^{-19} на всем диапазоне длин волн.

2. Представляло интерес сравнить два типа одномодовых волокон с минимальными потерями (0.2 дБ/км)

Волокно CWDM специально оптимизировано для передачи в E-диапазоне 1360-1460 нм (extended - расширенный). Это так называемое «обезвоженное» SM волокно, в котором устранен пик поглощения на длине волны 1385 нм, соответствующий поглощению на гидроксильных группах. Тогда при расстоянии между каналами в 20 нм в интервале длин волн от 1280 нм до 1620 нм помещается 16 каналов. В стандартных SM волокнах из-за «водяного пика» поглощения исключается диапазон E, и поэтому в этом же интервале помещается только 12 каналов.

Действительно, по результатам моделирования, на длине волны 1420 нм (E-диапазон) показатели качества передачи волокна CWDM несколько лучше, по сравнению со стандартным одномодовым волокном.

Таким образом, и классическое волокно SMF и волокно CWDM могут использоваться для проектирования систем WDM с выбранным значением мощности сигнала (таблица 3.1).

3. Что касается выбора необходимого «окна прозрачности», то при повышении мощности передатчика на всех длинах волн рассматриваемых диапазонов параметр BER соответствует требованиям (таблица 3.1). В данном случае, необходимым является тот факт, что при проектировании системы WDM, частотные планы мультиплексируемых каналов должны соответствовать работе линейного усилителя EDFA. Таким образом, выбор пал на C-диапазон, 1550 нм.

4. В таблице 3.1 показаны результаты параметра BER при использовании двух типов линейных кодов: RZ и NRZ. Следует отметить, что оба этих кода используются при проектировании низкоскоростных ВОСП предыдущих поколений с небольшим числом уплотняемых каналов. Действительно, при проектировании одного однонаправленного оптического канала значения параметра ошибок примерно одинаковы, как для кодирования в RZ, так и при использовании кода NRZ.

3.2 Исследование влияния различных факторов на качество передачи в технологии DWDM.

В дальнейшем исследовании представляло интерес, рассмотреть проектирование системы связи по технологии WDM. Как известно, применение мультиплексирования по длине волны, ведущее за собой повышение пропускной способности волокна, наиболее полно соответствует все более возрастающим требованиям по пропускной способности сети и скорости передачи.

Для моделирования системы связи с множественными каналами была использована программа OptiSystem в несколько другой редакции. Все составляющие передающего модуля сосредоточены в одном блоке – передатчике (T_x), и аналогично на приемной стороне – приемник (R_x), а также, для объединения каналов используем мультиплексор (Mux) и демультиплексор (Demux) на приеме, соответственно.

При моделировании системы связи по технологии WDM использовались следующие исходные данные (рисунок 3.2):

1. Тип волокна: SMF ($\alpha = 0.20$ дБ/км);
2. Волокно DFC (со смещенной дисперсией, в качестве компенсатора дисперсии);
3. Расстояние: 100 км;
4. Мощность лазера: 4 дБм;
5. Длина волны излучения: $\lambda=1550$ нм;
6. Сетка частотного планирования 100ГГц;
7. Линейное кодирование: NRZ

На рисунке 3.1 показана модель системы связи при 2-х канальном мультиплексировании

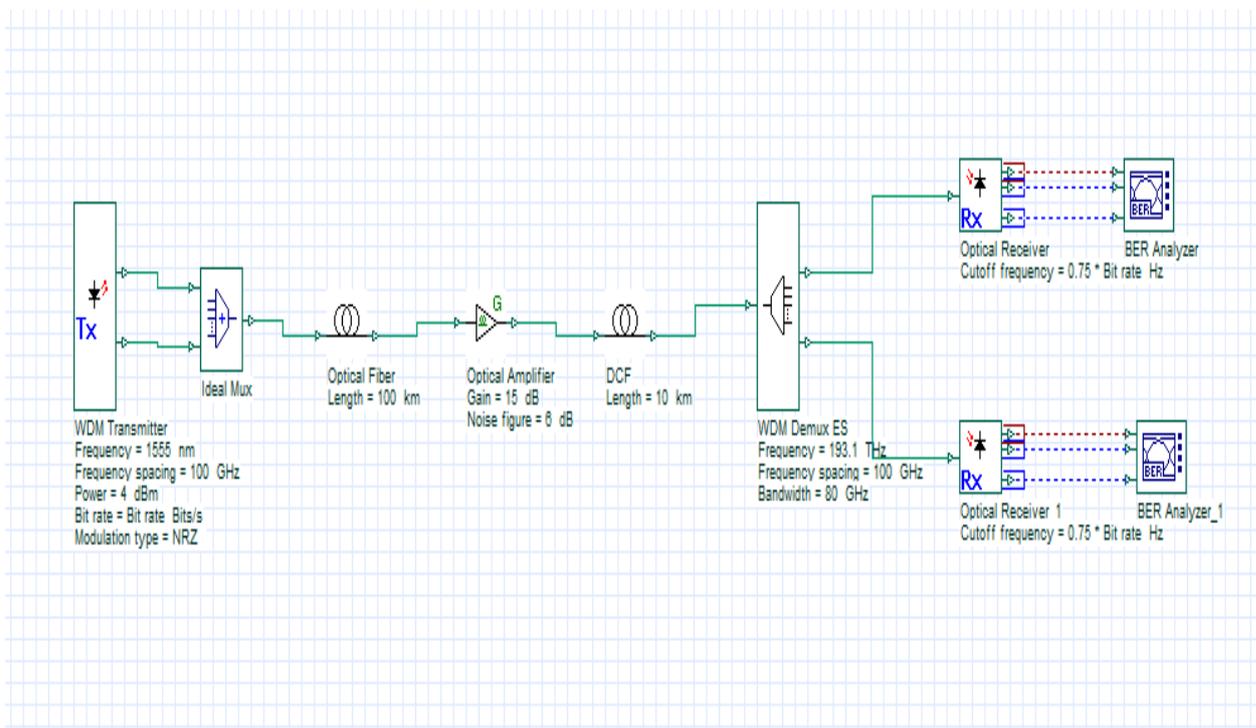


Рисунок 3.1 – Модель системы связи при 2-х канальном мультиплексировании

Линейный код NRZ.

При рассмотрении структуры линейного кода легко заметить, что осуществить выделение тактовой частоты тем проще, чем больше число переходов уровня в цифровом сигнале, то есть чем больше переходов “10” или “01”, при которых синусоидальное колебание тактовой частоты легко “вписывается” в структуру кода. Если же в коде имеются длинные последовательности со значительным преобладанием одинаковых символов, спектр будет содержать низкочастотные составляющие, что затруднит обработку сигнала в приемных устройствах и регенераторах.

Оптимально подобранная ПСП, станет результатом уменьшения спектральной составляющей сигнала в низкочастотной области. При применении скремблированного линейного кода NRZ наблюдается минимальное воздействие соседних каналов друг на друга. Спектр сигнала становится более равномерным, переместившись в область выделения тактовой частоты линейного сигнала, что облегчает его получение на приёмной стороне.

Наиболее оптимальным вариантом является использование скремблированного линейного кода NRZ. Скремблированный линейный код в формате передачи NRZ (Non Return to Zero – без возврата к нулю на тактовом интервале). Код обеспечивает выполнение ряда требований, предъявляемых к линейным сигналам:

- наличие узкой спектральной характеристики;
- отсутствие какой-либо избыточности при линейном кодировании;

-алгоритм формирования сигнала позволяет надежно контролировать качество (достоверность) передачи в процессе автоматической эксплуатации ВОСП путем контроля ошибок регенераторов;

-устройства кодирования, декодирования и контроля ошибок просты в изготовлении, схема усложняется только устройством скремблера;

-выбранный линейный код не приводит к существенному размножению ошибок при декодировании, так как скремблирование осуществляется группами битов;

-высокая помехоустойчивость.

При мощности лазера 2 дБм значения BER во всех окнах прозрачности не удовлетворяют требованиям ITU-T (10^{-12}). При значении 3 дБм, только для окна прозрачности соответствующего длинно волновому диапазону значение BER удовлетворяет требованию для обоих типов волокна. Наиболее оптимальным оказалась выходная мощность 4 дБм, где значения качества передачи соответствует нормам при всех исходных данных.

4. Теоретический расчет влияния некоторых факторов на качество передачи в волоконном световоде

4.1 Расчёт коэффициента затухания

Таблица 4.1 - Исходные данные

Наименование параметра	Условное обозначение	Значение
Центральная длина волны спектрального диапазона O	λ_{so} , нм	1310
Максимальное затухание на длине волны диапазона O	α_{so} , дБ/км	0.35
Центральная длина волны спектрального диапазона E	λ_{se} , нм	1383
Максимальное затухание на длине волны диапазона E	α_{se} , дБ/км	0.34
Центральная длина волны спектрального диапазона C	λ_{sx} , нм	1550
Максимальное затухание на длине волны диапазона C	α_{sx} , дБ/км	0.20
Максимальный прирост затухания к данным длинам волн	$\Delta\alpha$, дБ/км	0.01
Длина волны нулевой дисперсии(DCF)	λ_0 , нм	1550

Продолжение таблицы 4.1

Наименование параметра	Условное обозначение	Значение
Наклон кривой нулевой дисперсии	S_0 , пс/нм ² ·км	0.092
Поляризационная модовая дисперсия	PDM, пс/√км	0.3

1. Рассчитаем релеевское рассеяние на длине волны

$$\lambda_{so} = 1310, \text{ нм}$$

$$\bar{\alpha}_{pp} = \frac{6.3 \cdot 10^{11}}{\lambda_{so}^4} = \frac{6.3 \cdot 10^{11}}{1310^4} = 0.214 \text{ дБ/км} \quad (4.1)$$

2. Рассчитаем потери на инфракрасное поглощения на длине волны $\lambda_{so} = 1310$ нм,

$$\bar{\alpha}_{икп} = 0.9 \cdot \exp\left(\frac{-0.8}{\lambda_{so}}\right) = 0.9 \cdot \exp\left(\frac{-0.8}{1.310}\right) = 0.489 \text{ дБ/км} \quad (4.2)$$

3. Рассчитаем релеевское рассеяния на длине волны $\lambda_{se} = 1383$ нм

$$\alpha_{pp}(\lambda_{se}) = \frac{6.3 \cdot 10^{11}}{\lambda_{se}^4} = \frac{6.3 \cdot 10^{11}}{1383^4} = 0.172 \text{ дБ/км} \quad (4.3)$$

4. Рассчитаем потери на инфракрасного поглощения на длине волны $\lambda_{se} = 1383$ нм

$$\alpha_{икп}(\lambda_{se}) = 0.9 \cdot \exp\left(\frac{-0.8}{\lambda_{se}}\right) = 0.9 \cdot \exp\left(\frac{-0.8}{1.383}\right) = 0.505 \text{ дБ/км} \quad (4.4)$$

5. Рассчитаем релеевское рассеяние на длине волны $\lambda_{sx} = 1550$ нм

$$\alpha_{pp}(\lambda_{sx}) = \frac{6.3 \cdot 10^{11}}{\lambda_{sx}^4} = \frac{6.3 \cdot 10^{11}}{1550^4} = 0.109 \text{ дБ/км} \quad (4.5)$$

6. Рассчитаем потери инфракрасного поглощения на длине волны $\lambda_{sx} = 1550$ нм

$$\alpha_{икп}(\lambda_{sx}) = 0.9 \cdot \exp\left(\frac{-0.8}{\lambda_{sx}}\right) = 0.9 \cdot \exp\left(\frac{-0.8}{1.550}\right) = 0.537 \text{ дБ/км} \quad (4.6)$$

7. Значение параметра $\Delta\alpha_{se}$

$$\Delta\alpha_{se} = \alpha(\lambda_{se}) - \alpha_{pp}(\lambda_{se}) - \alpha_{икп}(\lambda_{se}) = 0.35 - 0.172 - 0.505 = -0.327 \text{ дБ/км} \quad (4.7)$$

8. Значение параметра $\Delta\alpha_{sx}$

$$\Delta\alpha_{sx} = \alpha(\lambda_{sx}) - \alpha_{pp}(\lambda_{sx}) - \alpha_{укл}(\lambda_{sx}) = 0.20 - 0.109 - 0.537 = -0.446 \text{ дБ/км} \quad (4.8)$$

9. Значение параметра $\delta\lambda^2$

$$\delta\lambda^2 = \frac{\Delta\alpha_{sx}}{\Delta\alpha_{se} - \Delta\alpha_{sx}} \cdot (\lambda_{sx} - \lambda_{se})^2 = \frac{-0.446}{-0.327 + 0.446} \cdot (1.550 - 1.383)^2 = -0.105 \text{ мкм}^2 \quad (4.9)$$

10. Значение коэффициента C_{oh}

$$C_{oh} = \Delta\alpha_{se} \cdot \delta\lambda^2 = -0.327 \cdot (-0.105) = 3.4 \cdot 10^{-2} \text{ мкм}^2 \cdot \text{дБ/км} \quad (4.10)$$

11. Рассчитаем потери, зависящие от наличия примесей ОН

$$\bar{\alpha}_{oh} = \frac{C_{oh}}{(\lambda_{so} - \lambda_{se})^2 + \delta\lambda^2} = \frac{3.4 \cdot 10^{-2}}{(1.310 - 1.383)^2 - 0.105} = -0.341 \text{ дБ/км} \quad (4.11)$$

12. Рассчитаем полученный коэффициент затухания

$$\bar{\alpha} = \bar{\alpha}_{pp} + \bar{\alpha}_{укл} + \bar{\alpha}_{oh} = 0.214 + 0.489 - 0.113 = 0.59 \text{ дБ/км} \quad (4.12)$$

13. Далее суммарный коэффициент затухания равен:

$$\alpha_{max} = \bar{\alpha} + 0.05 = 0.59 + 0.05 = 0.64 \text{ дБ/км} \quad (4.13)$$

По данным потерь (затухания мощности сигнала) построим график зависимости затухания от длины волны рассматриваемых диапазонов. По минимуму кривой видно, что минимальные потери сигнала приходятся на С-диапазон. Таким образом, рассчитанная рабочая длина волны попадает в стандартный “С” спектральный диапазон (1530 нм - 1565 нм), где значение потерь минимально. Данный факт совпадает с практическим использованием этого «окна прозрачности» для построения магистральных сетей.

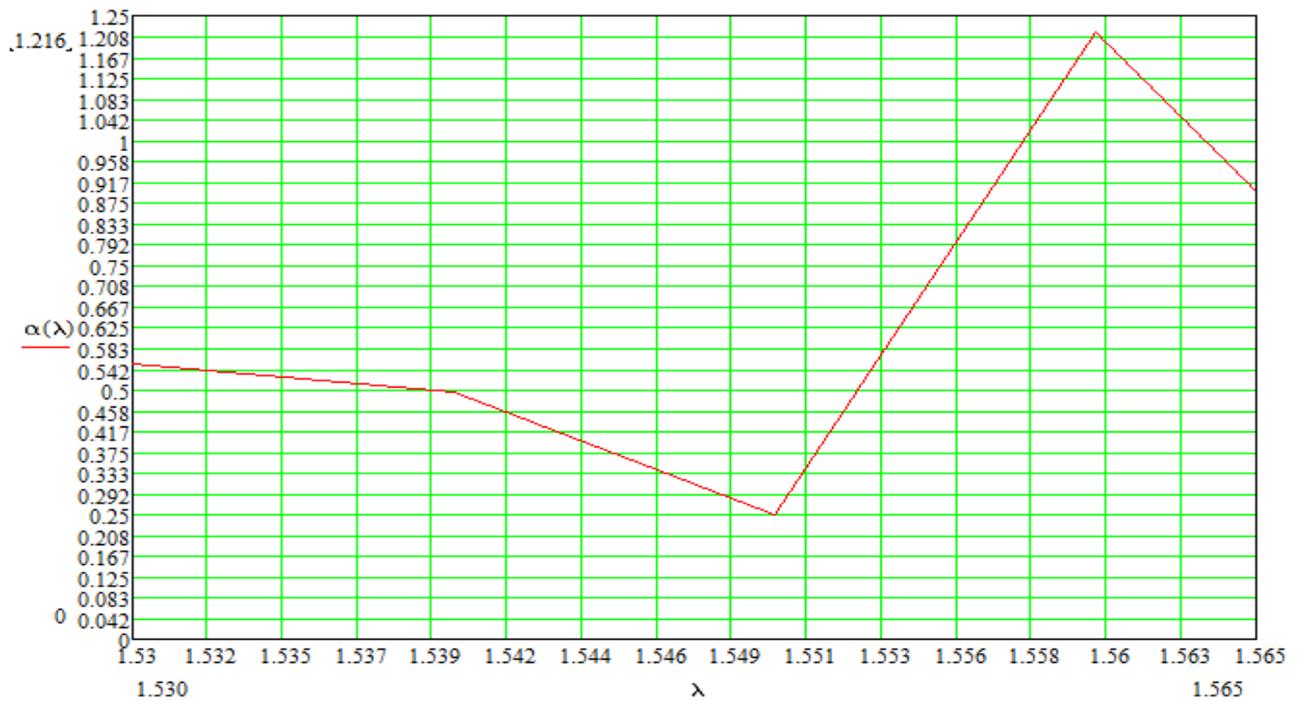


Рисунок 4.1 - Спектральная характеристика затухания

4.2 Расчёт хроматической дисперсии одномодового волокна

Поскольку одним из основных факторов, приводящих к ограничению действия одномодовых волокон является хроматическая дисперсия, представляло интерес провести теоретический расчет данного параметра передачи. Далее представлен инженерный расчет дисперсии для рассматриваемых волокон.

Таблица 4.2 - Исходные данные

Длина волны нулевой дисперсии	λ_0 , нм	1320
Наклон кривой нулевой дисперсии	S_0 , пс/нм ² ·км	0.092
Рабочая длина волны	λ_c , нм	1550

$$D_{об}(\lambda_c) = \frac{S_0}{4} \cdot \left(\lambda_c - \frac{\lambda_0^4}{\lambda_c^3} \right) = \frac{0.092}{4} \cdot \left(1550 - \frac{1324^4}{1550^3} \right) = 16.671 \text{ пс/нм} \cdot \text{км} \quad (4.14)$$

По рассчитанным результатам был построен график зависимости результирующей дисперсии от длины волны излучения, соответствующего окну прозрачности С-диапазона. Поскольку из вышеприведенных расчетов, именно в этом диапазоне наблюдается минимальное погонное затухание, вызванное особенностями состава и строения волокна. Как видно из графика,

зависимость имеет пропорциональный характер, дисперсия неуклонно растет, так как является функцией от длины волна излучения лазера.

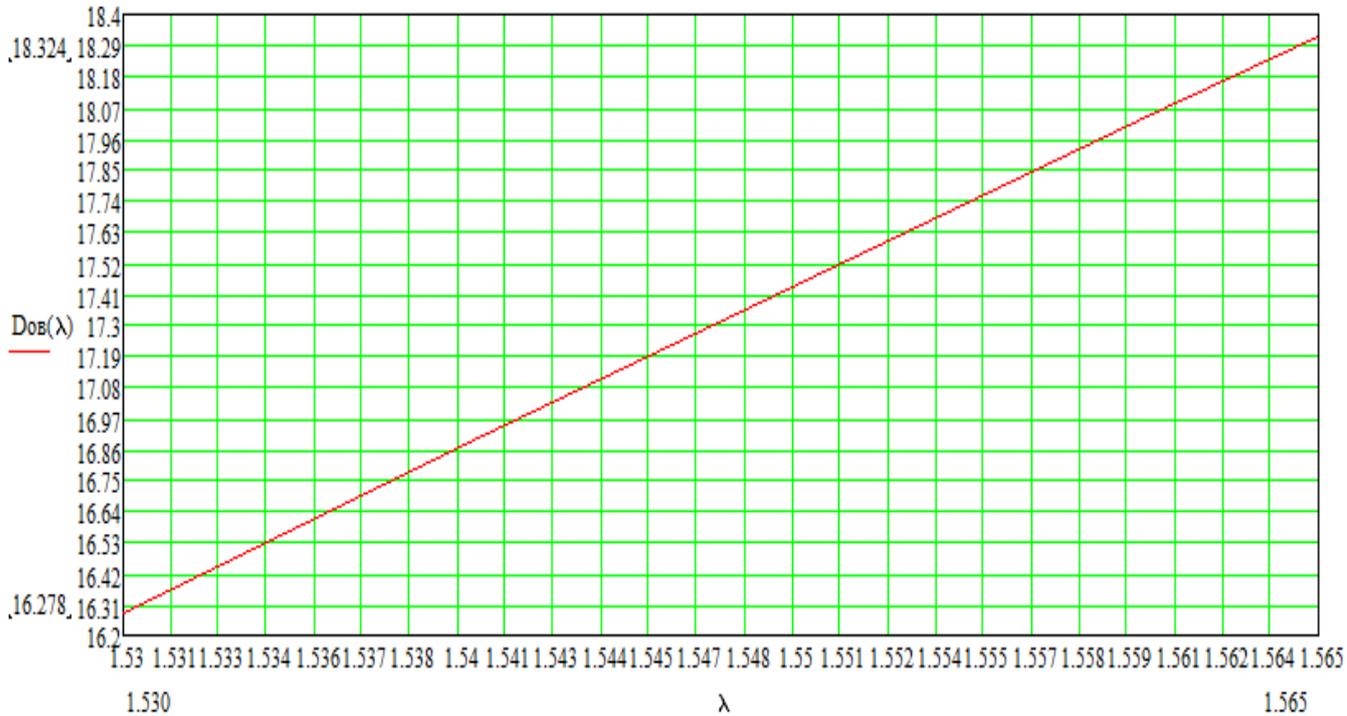


Рисунок 4.2 - Изменение дисперсионных характеристик в оптоволокне

4.3 Расчёт дисперсионных характеристик передачи на регенерационном участке

Поскольку результирующее значение затухания и дисперсии зависят от длины пролета линии связи, вернее, длина участка без регенерации сигнала определяется суммарными потерями в линии, далее, представляло интерес провести теоретический расчет дисперсионных потерь в линии связи.

1. Рассчитаем максимальное допустимое значение хроматической дисперсии

$$D_{py} = \frac{104000}{B^2} \cdot \Delta\lambda = \frac{104000}{(40)^2} \cdot 0.1 = 6.5 \text{ пс/нм} \quad (4.15)$$

где B – скорость передачи в линии, Гбит/с.

$\Delta\lambda$ – когерентность излучения лазера. Для одномодового лазера эта величина составляет 0.1 нм.

Поляризационная модовая дисперсия рассчитывается следующим образом:

$$PMD_{py} = \frac{140}{B} = 3.5 \text{ пс} \quad (4.16)$$

2. Рассчитаем уровень хроматической дисперсии в волокне

$$D_{ch} = D_{OB} \cdot \Delta\lambda = 16.671 \cdot 0.1 = 1.671 \text{ пс/нм} \quad (4.17)$$

3. Рассчитаем суммарные прогнозируемые значения хроматической и поляризационной модовой дисперсии на всей длине линии передачи

$$D_{ном} = D_{ch} \cdot L_{ном} = 1.671 \cdot 3 = 5.013 \text{ пс} \quad (4.18)$$

$$PMD_{ном} = PMD \cdot \sqrt{L_{ном}} = 0.06 \cdot \sqrt{3} = 0.104 \text{ пс} \quad (4.19)$$

$$D_{мин} = D_{ch} \cdot L_{мин} = 1.671 \cdot 1 = 1.671 \text{ пс} \quad (4.20)$$

$$PMD_{мин} = PMD \cdot \sqrt{L_{мин}} = 0.06 \cdot \sqrt{1} = 0.06 \text{ пс} \quad (4.21)$$

$$D_{max} = D_{ch} \cdot L_{max} = 1.671 \cdot 5 = 8.355 \text{ пс} \quad (4.22)$$

$$PMD_{max} = PMD \cdot \sqrt{L_{max}} = 0.06 \cdot \sqrt{5} = 0.3 \text{ пс} \quad (4.23)$$

Таким образом, по полученным результатам теоретического расчета можно сделать вывод о том, что исходные данные, выбранные для имитационного моделирования коррелируют с результатами расчета, а также с техническими характеристиками волокна, проектируемого в практических волоконно-оптических линиях связи.

Заключение

В данной диссертационной работе представлено исследование влияния различных факторов на качество передачи в волоконно-оптических линиях связи различного назначения. Представляло интерес рассмотреть современные высокоскоростные магистральные линии, построенные по технологии WDM.

Хотя технология WDM и повышает эффективность проектирования и работы систем связи, увеличивая полосу пропускания и количество передаваемых каналов, ее применение требует тщательной подготовки. На этапах планирования, разработки, производства и ввода систем WDM в эксплуатацию, все факторы должны быть рассмотрены и их влияние на качество передачи учтено в должной мере.

Очень важным становится контроль качества оптических характеристик и поведения системы, начиная от производства компонентов и завершая этапом системной интеграции. Такой контроль гарантирует ввод системы DWDM в эксплуатацию с расчетными параметрами, длительную и устойчивую ее работу.

На основе полученных результатов исследования можно сделать следующие выводы:

- необходимая мощность вводимого сигнала будет зависеть от числа уплотняемых каналов. Однако, неконтролируемое повышение мощности приводит к появлению негативных нелинейных оптических явлений в волокне, что сказывается на качестве передачи. В нашем случае, для системы с разреженным мультиплексированием это значение равно 4 дБм, что подтверждается техническими данными оборудования (от 2 до 15 дБм на канал).

- Тип используемого волокна (его погонное затухание) должен соответствовать окну прозрачности оптического диапазона и требованиям частотного плана.

- Линейные коды ВОСП накладывают свой отпечаток на условия проектирования системы, прежде всего на число уплотняемых каналов. Поскольку применение скремблированного линейного кода NRZ ведет к минимальному воздействию соседних каналов друг на друга, рекомендуется использовать линейное кодирование NRZ.

- При проектировании системы передачи следует учитывать возможности линейных усилителей мощности сигнала и применение волокна со смещенной дисперсией в качестве компенсатора дисперсии.

Список литературы

- 1.Ландсберг Г.С. Оптика. Изд.пятое, перераб. и доп. - М.:Наука, 1976. - 928с.
- 2.Агравал Г. Нелинейная волоконная оптика. Пер. с англ. Под ред. П. В. Мамышева. - М.: Мир, 1996. - 324с.
- 3.Robert J Hoss. Fiber Optic Communications Handbook. - Prentice - Hall International Edition, 1990. - 435р.
- 4.Жданов Г.С., А.Г. Хунджуа. Лекции по физике твердого тела: Принципы строения, реальная структура, фазовые превращения. - М.: Изд. МГУ, 1998. - 231с.
- 5.ITU-T G.694.1. Spectral grids for WDM applications: DWDM frequency grid (6.2002).
- 6.ITU-T G.694.2 Spectral grids for WDM applications: CWDM frequency grid (6.2002;12.2003)
- 7.Слепов Н.Н. О современной технологии WDM и не только. - Фотон-Экспресс, 2007, №1, с. 8-9
- 8.ITU-T G.692. Optical interfacex for multi- channel systems with optical amplifiers (10.1998). Amendment 1 (1.2005); Corrigendum 1,2 (01.2000, 06.2002).
9. Н.Hinderthür, L.Friedric. WDM hybrid transmission based on CWDM plus DWDM. - Lightwave Europe, July 2003, p.9-12.
10. Jean-Pierre Laud. DWDM Fundamentals, Components and Applications. - Artech House Inc., Boston-London, 2002,p.282.
- 11.Слепов Н.Н. Оптические мультиплексоры и демультиплексоры
- 12.Jun-Ichi-Kani et. al. Triple-wavelength-band WDM transmission technologies. - OFC-2002, Anaheim, Paper TuR5, p.122-123.
- 13.Слепов Н. Системы SDH уровня STM-1024: Эксперименты или реальность - Первая миля, 2009 №3/4, с.24-30
- 14.Andrea Borella, Giovanni Cancellieri, Franck Chiaraluce. Wavelength Division Multiple Access Optical Networks. - Artech House. Boston-Lodon. 1998, 322 pp.
- 15.Ottmar Krauss. DWDM and Optical Networks (An Introduction to Terabit Technology). - Siemens/Publicis, Erlangen, 2002.-196.
- 16.Слепов Н.Н. Особенности, проблемы и перспективы разреженных систем WDM (CWDM). - Электроника: НТБ, 2004, №7, с. 56-59.систем WDM. - Электоника: НТБ, 2004, №8,с.42-47
- 17.Мальке Г., Гессинг П. Волоконно-оптические кабели. - Изд.2-е, перераб. и доп. Пер. с нем. А.Краева. Изд.компании "Corning Cable Systems", Новосибирск: Лингва-9, 2001. - 345с.
- 18.ITU-T G.650. Definition and Test Methods for the Relevant Parameters of Single-Mode Fibers (10.2000).
- 19.Ландсберг Г.С. Оптика. Изд.пятое, перераб. и доп. - М.: Наука, 1976.- 928с.

20. Мальке Г., Гессинг П. Волоконно-оптические кабели. Изд. 2-е перераб. и доп. Пер. с нем. - Изд. Corning Cable Systems, 2001.-346с.

21. Мальке Г., Гессинг П. Волоконно-оптические кабели. Изд. 2-е перераб. и доп. Пер. с нем. - Изд. Corning Cable Systems, 2001.-345с.

22. ITU-T G.821. Error performance of an international digital connection operating at a bit rate below the primary rate and forming part of an integrated services digital network (8.96;12.2002)

23. ITU-T G.826. Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate digital paths at or above the primary rate (2.99;12.2002)

24. ITU-R S.1062-2 Allowable error performance for a hypothetical reference digital path operating at or above the primary rate (11.1999)

25. ITU-R S.614-3. Allowable error performance for a hypothetical reference digital path in the fixed-satellite service operating below 15 GHz when forming part of an international connection in a integrated services digital network (11.1993).

26. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. 2-е исправ. изд. - М.: Радио и связь, 2003-486с.

27. ITU-T G.826. Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate digital paths at or above the primary rate (2.99;12.2002)

28. ITU-T M.2100. Performance limits for bringing-into-service and maintenance of international PDH paths, sections and transmission systems (7.95;4.2003)

29. ITU-T M.2101. Performance limits for bringing-into-service and maintenance of international SDH paths and multiplex sections (4.97;6.2003).

Приложение А Модель канала связи

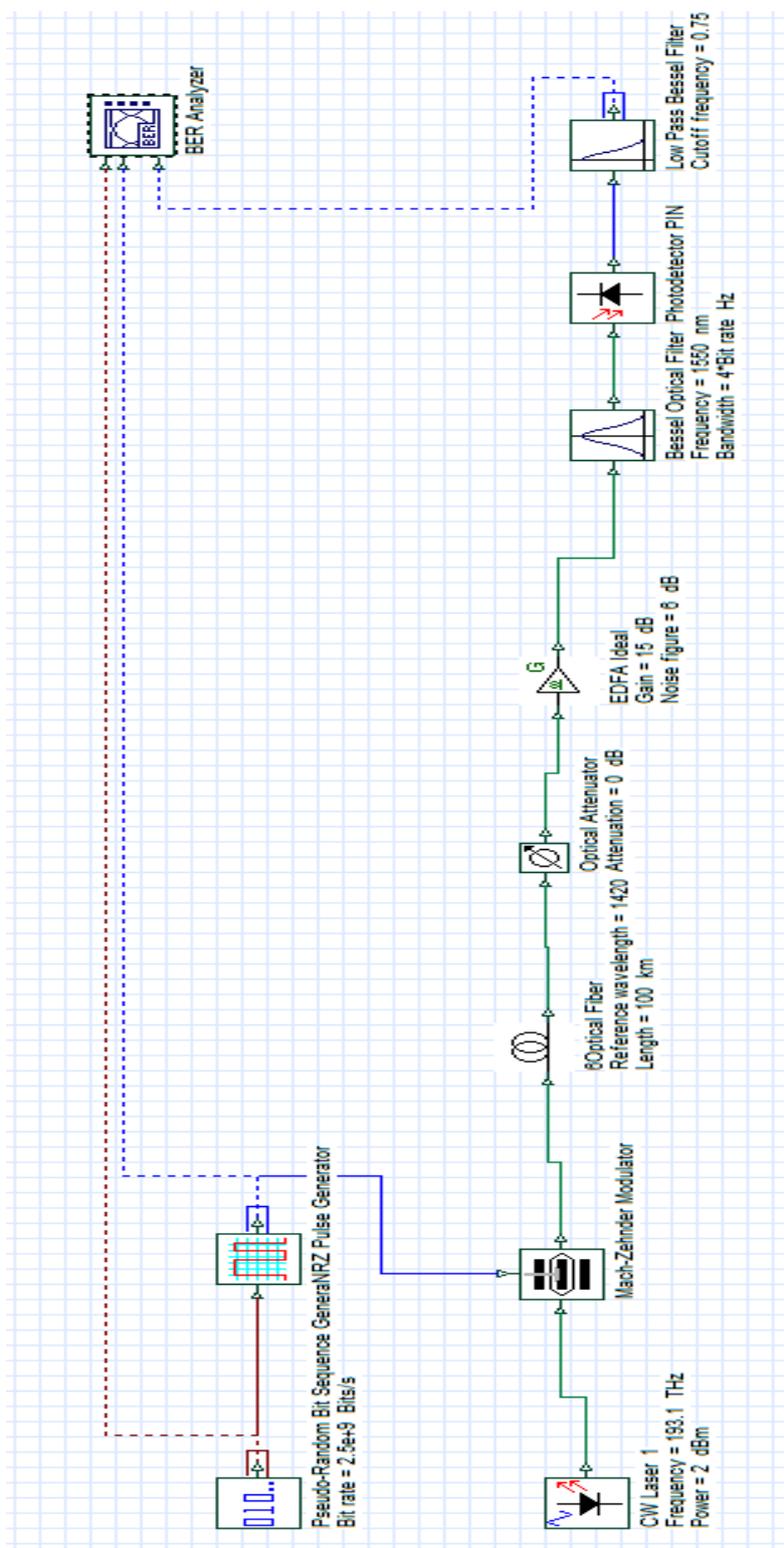


Рисунок А1 - Модель канала связи

Приложение Б Глаз диаграммы

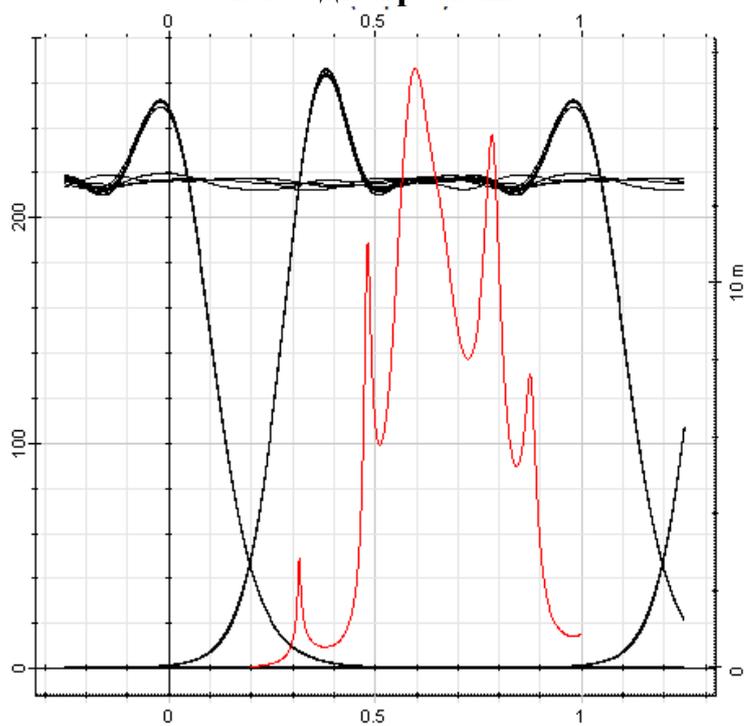


Рисунок Б1 - Глаз диаграммы без ошибок

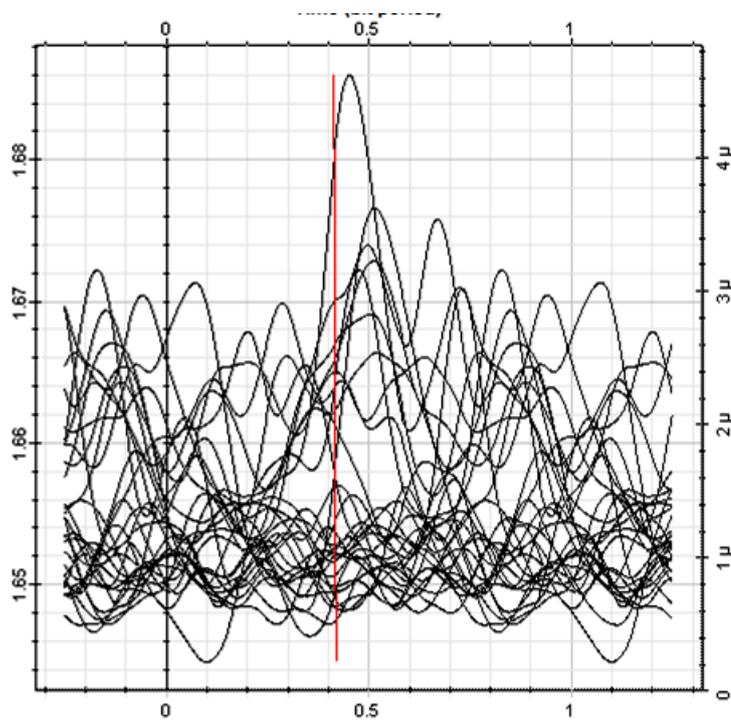


Рисунок Б2 - Глаз диаграммы с ошибками