



АНТИПЛАГИАТ
ТВОРИТЕ СОБСТВЕННЫМ УМОМ

Кыргызский государственный
технический университет им.
И. Раззакова

СПРАВКА

о результатах проверки текстового документа
на наличие заимствований

Проверка выполнена в системе
Антиплагиат.ВУЗ

Автор работы	Жищенко Виктор Владимирович
Подразделение	ИЭТ ТКМ
Тип работы	Выпускная квалификационная работа
Название работы	Технологии DWDM при построении областных оптических линий
Название файла	Жищенко В..docx
Процент заимствования	57.26 %
Процент самоцитирования	0.00 %
Процент цитирования	0.24 %
Процент оригинальности	42.50 %
Дата проверки	10:11:39 22 июня 2020г.
Модули поиска	Модуль поиска ИПС "Адилет"; Модуль выделения библиографических записей; Сводная коллекция ЭБС; Модуль поиска "Интернет Плюс"; Коллекция РГБ; Цитирование; Модуль поиска переводных заимствований; Модуль поиска переводных заимствований по eLibrary (EnRu); Модуль поиска переводных заимствований по eLibrary (KyRu); Модуль поиска переводных заимствований по интернет (EnRu); Модуль поиска переводных заимствований по интернет (KyRu); Коллекция eLIBRARY.RU; Коллекция ГАРАНТ; Модуль поиска "КГТУ"; Коллекция Медицина; Диссертации и авторефераты НББ; Модуль поиска перефразирований eLIBRARY.RU; Модуль поиска перефразирований Интернет; Коллекция Патенты; Модуль поиска общеупотребительных выражений; Кольцо вузов
Работу проверил	Кедибекова Алия Келдибековна ФИО проверяющего
Дата подписи	22.06.2020 Подпись проверяющего

Чтобы убедиться
в подлинности справки,
используйте QR-код, который
содержит ссылку на отчет.



Ответ на вопрос, является ли обнаруженное заимствование
корректным, система оставляет на усмотрение проверяющего.
Предоставленная информация не подлежит использованию
в коммерческих целях.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ
 ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
 КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
 УНИВЕРСИТЕТ им. И. РАЗЗАКОВА

ИЭТ факультет

Кафедра Телекоммуникаций

**РАСЧЕТНО – ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
 К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ НА ТЕМУ:**

“ Технологии DWDM при построении областных оптических линий “.

Выполнил студент группы СССКд 1-15
 Жищенко Виктор Владимирович


 (подпись)

Руководитель выпускной квалификационной работы
 Келдибекова Алия Келдибековна


 (подпись)

Консультанты по:

1) Н. контроль Келдибекова Алия Келдибековна


 (подпись)

2) _____

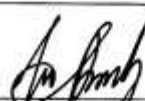
3) _____

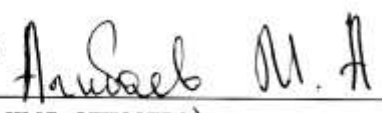
4) _____

5) _____

Проект к защите допущен

Заведующий кафедрой ТКМ, ст.преподаватель
 Токонов Акиналы Тургуналиевич


 (подпись)

Рецензент 
 (фамилия, имя, отчество)


 (подпись)

Бишкек - 2020 г.

И.РАЗЗАКОВ атындагы КЫРГЫЗ МАМЛЕКЕТТИК ТЕХНИКАЛЫК
УНИВЕРСИТЕТИНИН алдындагы
ЭЛЕКТРОНИКА жана ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯ ИНСТИТУТУ

ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ
при КЫРГЫЗСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ТЕХНИЧЕСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ
им. И. РАЗЗАКОВА

_____ минбары (кафедрасы)
Кафедра Телекоммуникаций

«БЕКИТЕМ»
«УТВЕРЖДАЮ»

Минбардын (кафедранын) башчысы

Зав. кафедрой ТКМ,
ст.преподаватель
Токонов А.Т
«__» июня 2020 г.ж.

СССК(д) 1-15 _____ тобунун студенти
Жищенко Виктор Владимирович дипломдук долбоорунун

ТАПШЫРМАСЫ

ЗАДАНИЕ

На выпускную квалификационную работу студента группы СССК(д)1-15
Жищенко Виктора Владимировича


(подпись)

1. Долбоордун нуктасы:

Тема ВКР: “ Технологии DWDM при построении областных оптических линий.”
2020ж. _____ «_____» № факультеттин буйругу менен бекитилген

Утверждена приказом по факультету 08/4 от «5» марта 2020г..

2. Студенттин долбоорду тапшыруу мөөнөтү.

Срок сдачи студентом законченного проекта 23.06.2020г.

3. Долбоорго карата алгачкы маалымат: _____

Исходные данные к дипломному проекту: техническая литература, журналы, литература фирм-производителей, стандарты.

Катар № п/п	Эсептеп-түшүндүрмө каттын мазмуну (иштетүүгө тийиштүү маселелердин тизмеси) Содержание расчетно-пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов)	Көлөмү % менен Объем в %	Аткаруу мөөнөтү Срок выполнения
1.	АННОТАЦИЯ		
2.	ВВЕДЕНИЕ		
3.	Глава 1 ТЕХНОЛОГИЯ DWDM И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ.	30	9.04.20
	1.1 Плотное спектральное уплотнение.		
	1.2 Описание технологии плотного спектрального уплотнения.		
	1.3 Сетка 100 и 50 ГГц.		
	1.4 Мультиплексоры DWDM.		
	1.5 Транспондеры и трансиверы.		
4.	1.6 Применение оптических усилителей.		
	1.7 Применение устройства ROADM.		
	1.8 Основные свойства и схемы работы DWDM.		
	1.9 Обоснование строительства оптической линии связи.	30	
5.	Глава 2. ВЫБОР ТРАССЫ И ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ.		15.05.20
	2.1 Основные требования к выбору трассы.		
	2.2 Описание трассы прокладки кабеля и описание кабеля.		
	2.3 Основные характеристики DWDM оборудования.		
	2.4 Системы передач используемые в сетях связи Кыргызской Республики.		
	2.5 Характеристики промышленных систем WDM.		
6.	2.6 Характеристики используемой системы передачи.		
7.	Глава 3. РАЧЕСТНАЯ ЧАСТЬ НАГРУЗКИ, ЗАТУХАНИЯ, ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И OSNR.	30	16.06.20

	3.1 Расчёт нагрузки и требуемой мощности.		
	3.2 Разработка схемы связи, управления и синхронизации.		
	3.3 Расчет дисперсии в канале.		
	3.4 Расчет OSNR и мощностей сигнала.		
	3.5 Организация схемы связи.		
	3.6 Электропитание оборудования.		
	3.7 Управление сетью DWDM.		
	3.8 Краткое сравнение сетей WDM.		
	Заключение.	10	17.06.20
	Список используемой литературы.		

Катар № п/п	Чийимбөлүгү Графическая часть	24 көлөмдүүбара гы Объем в %	Көлөмү % менен Объемв %	Аткаруумөө нөтү Срок выполнения
1	Лист №1. График нагрузок.	15	15	12.04.20
2	Лист №2. Схема узлов организации связи.	15	30	10.05.20
3	Лист №3. Общая схема DWDM.	15	45	15.05.20
4	Лист №4. Географическая карта протяжки ВОЛС по ЖД.	15	60	22.05.20
5	Лист №5 Магистральная схема построения связи по технологии DWDM.	25	85	28.06.20
6	Лист №6 Схема различий WDM систем.	15	100	06.06.20

Айрым бөлүктөрү боюнча кеңеш беруулөр
(жетекчисинен тышкары)
Консультации по отдельным разделам
(помимо руководителя)

№	Бөлүктөрү (аталышы) Раздел (наименование)	Кеңешберүүчүлөрдүн аты, ата-теги Ф.И.О. консультанта
1	Н. контроль	Келдибекова Алия Келдибековна
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Тапшырма берген күнү
Дата выдачи задания 05.03.2020г.

Жетекчиси
Келдибекова Алия Келдибековна

Аты, ата-теги, окумуштуу даражасы
наамы, кол белгиси

Ф.И.О., ученая степень, звание подпись

Келдибекова А.К.

Келдибекова

Тапшырманы алган күнү

Задание принял к исполнению (дата) Ф.И.О

Жищенко Виктор Владимирович

Студенттин колу

(подпись студента)

Эскертүү: Бул тапшырма бүткөн долбоорго тиркелет жана долбоор менен бирге мамлекеттик ымтыканга көрсөтүлөт.

Примечание: Это задание прилагается к законченному ДП и вместе с работой предъявляется на ГАК.

АННОТАЦИЯ

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрено проектирование оптической сети передачи данных на основе технологии DWDM на примере построения сети в Чуской области Кыргызской Республики. Рассмотрена местность проектирования, особенности технологии DWDM, а также проведен сравнительный анализ технологий CWDM и DWDM.

Произведены расчеты пропускной способности сети и затухания оптического сигнала из-за дисперсии.

В пояснительной записке выпускной квалификационной работы содержится 30 рисунков, 11 таблиц. В целом пояснительная записка составила 73 страницы, а также приводятся иллюстрированные материалы на 6 плакатах формата А3.

АННОТАЦИЯ

Бул акыркы квалификациялык жумушта, DWDM технологиясынын негизинде маалыматтарды берүүнүн оптикалык тармагын Кыргыз Республикасынын Чүй облусунда тармакты түзүү мисалында каралат. Дизайн чөйрөсү, DWDM технологиясынын өзгөчөлүктөрү каралып, CWDM жана DWDM технологияларына салыштырмалуу талдоо жүргүзүлөт.

Тармактын өткөрүү жөндөмдүүлүгү жана дисперсияга байланыштуу оптикалык сигналдын өчүшү эсептелген.

Акыркы квалификациялык иштин түшүндүрмө катында 30 сүрөт, 11 таблица камтылган. Жалпысынан, түшүндүрмө кат 73 баракты түзгөн, ошондой эле иллюстрациялык материалдар А3 форматындагы 6 постерде берилген.

					ВКР.КГТУ.ТКМ 002.012.000.ПЗ			
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата	Аннотация	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Жищенко В.	<i>Жищенко В.</i>					
Провер.		Келдибекова	<i>Келдибекова</i>					
Т. Контр.								
Реценз.		Алибаев	<i>Алибаев</i>					
Н. Контр.		Келдибекова	<i>Келдибекова</i>			Лист	Листов	
Утв.		Токонов	<i>Токонов</i>			СССК(дот)-1-15		

Оглавление	
ВВЕДЕНИЕ.....	9
ГЛАВА 1. ТЕХНОЛОГИЯ DWDM И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ.....	11
1.1 Плотное спектральное уплотнение.....	11
1.2 Описание технологии плотного спектрального уплотнения.....	11
1.3 Сетка 100 и 50 ГГц.....	11
1.4 Мультиплексоры DWDM.....	14
1.5 Транспондеры и трансиверы.....	15
1.6 Применение оптических усилителей	16
1.7 Применение устройства ROADM.....	17
1.8 Основные свойства и схемы работы DWDM.....	18
1.9 Обоснование строительства оптической линии связи.....	29
ГЛАВА 2 ВЫБОР ТРАССЫ И ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ.....	31
2.1 Основные требования к выбору трассы.....	31
2.2 Описание трассы прокладки кабеля и описание кабеля.....	31
2.3 Основные характеристики DWDM оборудования.....	35
2.4 Системы передач используемые в сетях связи Кыргызской Республики.....	37
2.5 Характеристики промышленных систем WDM.....	41
2.6 Характеристики используемой системы передачи.....	46
Глава 3. РАЧЕСТНАЯ ЧАСТЬ НАГРУЗКИ, ЗАТУХАНИЯ, ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И OSNR.....	51
3.1 Расчёт нагрузки и требуемой мощности.....	51
3.2 Разработка схемы связи, управления и синхронизации.....	53
3.3 Расчет дисперсии в канале.....	55
3.4 Расчет OSNR и мощностей сигнала.....	56
3.5 Организация схемы связи.....	62
3.6 Электропитание оборудования.....	62
3.7 Управление сетью DWDM.....	64
3.8 Краткое сравнение сетей WDM.....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	71
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	72

ВВЕДЕНИЕ

В современном развивающемся мире информационных технологий средств передачи данных, постоянно требуется увеличение объема передачи данных. Эта тенденция в основном связана с увеличением числа пользователей Internet и также с растущим взаимодействием международных операторов и увеличением объемов передаваемой информации. Полоса пропускания в расчете на одного пользователя стремительно увеличивается. Бурному росту телекоммуникационных технологий способствуют многие факторы: создание глобального информационного пространства, увеличение роли современных высокоскоростных средств связи, всеобщая компьютеризация и, как следствие, увеличение пользователей интернета, создание обширных локальных и корпоративных (VPN) сетей с использованием технологий Ethernet, Fast Ethernet(PON), Gigabit Ethernet(GPON, 5G). Поэтому поставщики средств связи при построении современных информационных сетей используют волоконно-оптические кабельные системы наиболее часто. Неоспоримыми преимуществами ВОСП являются высокая скорость и надежность, низкий показатель ошибок, защищенность от несанкционированного доступа, отсутствие влияния электромагнитных помех.

Сегодня волоконная оптика находит применение практически во всех задачах, связанных с передачей информации. Благодаря появлению современных волоконно-оптических кабелей оказались возможными высокие скорости передачи в линейных трактах (ЛТ) цифровых систем передачи с одновременным удлинением секций регенерации до 100 км и более. Производительность таких ЛТ превышает производительность цифровых трактов на кабелях с металлическими парами в 100 и более раз, что радикально увеличивает их экономическую эффективность.

Оптоволоконные системы всего за несколько десятилетий эволюционировали от экспериментальных образцов стеклянных нитей - первых разработок 1960-ых годов, которым было сложно конкурировать с любыми доступными в те времена классическими электропроводными линиями ввиду отсутствия четко выработанного технологического процесса изготовления и недостаточного уровня развития лазерных технологий, до безоговорочного лидерства в сфере высокоскоростной кабельной передачи данных.

Интенсивное развитие данных технологий позволяет решать самые разнообразные задачи от построения мелких внутриобъектовых сетей различных конфигураций до организации протяженных линий междугородного и международного сообщения, а внедрение современных решений в области восстановления и усиления, передаваемых по

оптическому волокну сигналов, предоставляет возможность строительства магистралей связи на десятки тысяч километров. Огромный выбор видов волоконно-кабельной продукции с легкостью решает проблему прокладки линий связи в различных условиях: в зданиях, под землей, по дну океанов, рек, на ЛЭП, в тоннелях и коллекторах.

Оптические системы находят применение в таких проектах как организация цифровых кабельных телевизионных сетей, создание локально-вычислительных сетей, строительство национальных сетей крупнейших операторов связи, организация городской, внутризонавой и межрегиональной связи. А благодаря особым специфическим свойствам таким как электромагнитная совместимость, невоспламеняемость и малогабаритность, волоконная оптика удачно внедряется в бортовых космических, самолетных и корабельных системах, а также в высокоточных измерительных приборах.

Постоянное увеличение прибыли от внедрения оптических линий связи увеличивает число компаний, предоставляющих услуги в этой сфере, а возрастание конкуренции между ними способствует появлению все более совершенных волоконно-оптических систем передачи. Ведущими разработчиками в данной области являются компании Huawei, Cisco, Lucent Technologies, Corning, Alcatel, Fujikura.

Целью дипломного проекта является проектирование и строительство цифровой волоконно-оптической линии связи с использованием технологии спектрального разделения каналов DWDM между городами Бишкек и Чалдовар, с использованием резервирования линии по РРЛС.

Глава 1. ТЕХНОЛОГИЯ DWDM И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ.

1.1 Плотное спектральное уплотнение DWDM (Dense Wavelength-Division Multiplexing) — это современная технология передачи большого числа оптических каналов по одному волокну, которая лежит в основе нового поколения сетевых технологий. В настоящее время телекоммуникационная индустрия претерпевает беспрецедентные изменения, связанные с переходом от голосо-ориентированных систем к системам передачи данных, что является следствием бурного развития Internet-технологий и разнообразных сетевых приложений. С крупномасштабным развертыванием сетей передачи данных происходит модификация самой архитектуры сетей. Именно поэтому требуются фундаментальные изменения в принципах проектирования, контроля и управления сетями. В основе нового поколения сетевых технологий лежат многоволновые оптические сети, базирующиеся на плотном волновом мультиплексировании DWDM.

1.2 Описание технологии

Самым важным параметром в технологии плотного волнового мультиплексирования бесспорно является расстояние между соседними каналами. Стандартизация пространственного расположения каналов нужна, уже хотя бы потому, что на ее основе можно будет начинать проведение тестов на взаимную совместимость оборудования разных производителей. Сектор по стандартизации телекоммуникаций Международного союза по электросвязи ITU-T утвердил частотный план DWDM с расстоянием между соседними каналами 100 ГГц (нм), (Табл.1). В тоже время большие дебаты продолжаются вокруг принятия частотного плана с еще меньшим расстоянием между каналами 50 ГГц (нм). Без понимания того, какие ограничения и преимущества имеет каждый частотный план, операторы связи и организации, планирующие наращивание пропускной способности сети, могут столкнуться со значительными трудностями и излишними инвестициями.

1.3 Сетка 100 и 50 ГГц

В рисунке 1 перечислены каналы DWDM в частотной сетке 100 ГГц, согласно рекомендациям ITU-T G.694.1. Все сетки, кроме одной — 500/400, имеют равноудаленные каналы. Равномерное распределение каналов позволяет оптимизировать работу волновых конвертеров, перестраиваемых лазеров и других устройств полностью оптической сети, а также позволяет легче выполнять ее наращивание.

Длина волны, нм	Номер канала	Диапазон	Длина волны, нм	Номер канала	Диапазон
1565,50	15	RED-BAND	1546,92	38	BLUE-BAND
1564,68	16		1546,12	39	
1563,86	17		1545,32	40	
1563,05	18		1544,53	41	
1562,23	19		1543,73	42	
1561,42	20		1542,94	43	
1560,61	21		1542,14	44	
1559,79	22		1541,35	45	
1558,98	23		1540,56	46	
1558,17	24		1539,77	47	
1557,36	25		1538,98	48	
1556,55	26		1538,19	49	
1555,75	27		1537,40	50	
1554,94	28		1536,61	51	
1554,13	29		1535,82	52	
1553,33	30		1535,04	53	
1552,52	31		1534,25	54	
1551,72	32		1533,47	55	
1550,92	33		1532,68	56	
1550,12	34		1531,90	57	
1549,32	35		1531,12	58	
1548,51	36		1530,33	59	
1547,72	37		1529,55	60	
			1528,77	61	

Рис. 1. Частотная сетка каналов DWDM 100 ГГц

Реализация той или иной сетки частотного плана во многом зависит от трех основных факторов:

1. Тип используемых оптических усилителей (кремниевый или фтор-цирконатный)
2. Скорость передачи на канал — 2,4 Гбит/с (STM-16) или 10 Гбит/с (STM-64)
3. Влияние нелинейных эффектов

Следует отметить, что все эти факторы тесно взаимосвязаны между собой.

Стандартные EDFA на кремниевом волокне имеют один недостаток — большую вариацию коэффициента усиления в области ниже 1540 нм, что приводит к более низким значениям соотношения сигнал/шум и нелинейности усиления в этой области. Одинаково нежелательны как сильно низкие, так и сильно высокие значения коэффициента усиления. С ростом полосы пропускания минимальное допустимое по стандарту соотношение сигнал/шум возрастает. Так для канала STM-64 оно на 4-7 дБ выше, чем для STM-16. Таким образом, нелинейность коэффициента усиления кремниевых EDFA сильнее ограничивает размер зоны для мультиплексных каналов STM-64 (1540-1560 нм), нежели чем для каналов

STM-16 и меньшей емкости (где можно использовать практически всю зону усиления кремниевого EDFA, несмотря на нелинейность).

Сетка 50 ГГц

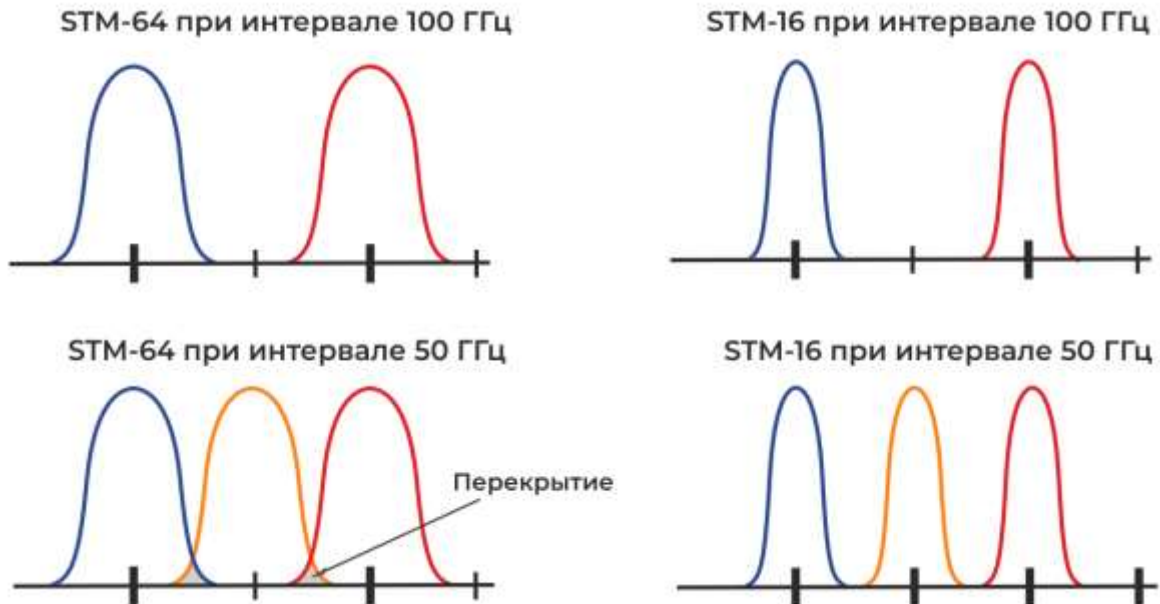


Рис 2. Распределение каналов DWDM 50 ГГц и 100 ГГц

Более плотный, пока не стандартизированный частотный план сетки с интервалом 50 ГГц позволяет эффективней использовать зону 1540-1560 нм, в которой работают стандартные кремниевые EDFA. Наряду с этим преимуществом у данной сетки есть свои минусы.

Во-первых, с уменьшением межканальных интервалов возрастает влияние эффекта четырехволнового смешивания, что начинает ограничивать максимальную длину межрегенерационной линии (линии на основе только оптических усилителей).

Во-вторых, малое межканальное расстояние $\sim 0,4$ нм может ограничить возможность мультиплексирования каналов STM-64. Как видно из рисунка, мультиплексирование каналов STM-64 с интервалом 50 ГГц не допустимо, поскольку тогда возникает перекрытие спектров соседних каналов. Только в случае, если имеет место меньшая скорость передачи в расчете на канал (STM-4 и ниже), перекрытия спектров не возникает.

В-третьих, при интервале 50 ГГц требования к перестраиваемым лазерам, мультиплексорам и другим компонентам становятся более жесткими, что снижает число потенциальных производителей оборудования, а также ведет к увеличению его стоимости.

1.4 Мультиплексоры DWDM

В отличие от более традиционных WDM, мультиплексоры DWDM имеют две особенности:

1. Использование только одного окна прозрачности 1550 нм в пределах области C-band 1530-1560 нм и L-band 1570-1600 нм
2. Малые расстояния между мультиплексными каналами — 0,8 нм или 0,4 нм

Кроме этого, поскольку мультиплексоры DWDM рассчитаны на работу с большим числом каналов — до 32 и более, то наряду с устройствами DWDM, в которых мультиплексируются (демультиплексируются) одновременно все каналы, допускается использование других устройств, не имеющих аналогов в системах WDM и работающих в режиме добавления/вывода одного и более каналов в/из основного мультиплексного потока, представленного большим числом других каналов. Так как выходные порты/полюса демультиплексора закреплены за определенными длинами волн, то говорят, что такое устройство осуществляет пассивную маршрутизацию по длинам волн. Из-за малых расстояний между каналами и необходимости работы с большим числом каналов одновременно, изготовление мультиплексоров DWDM требует значительно большей прецизионности по сравнению с WDM-мультиплексорами (использующими обычно окна прозрачности 1310 нм, 1550 нм или дополнительно область длин волн в окрестности 1650 нм). Также важно обеспечить высокие характеристики по ближним (коэффициент направленности) и дальним (изоляция) переходным помехам на полюсах DWDM-устройства. Все это приводит к более высокой стоимости DWDM-устройств по сравнению с WDM.

Типовая схема DWDM-мультиплексора с зеркальным отражательным элементом. Рассмотрим его работу в режиме демультиплексирования. Приходящий мультиплексный сигнал попадает на входной порт. Затем этот сигнал проходит через волновод-пластину и распределяется по множеству волноводов, представляющих дифракционную структуру AWG (Arrayed Waveguide Grating). По-прежнему сигнал в каждом из волноводов остается мультиплексным, а каждый канал остается представленным во всех волноводах. Далее происходит отражение сигналов от зеркальной поверхности и в итоге световые потоки

вновь собираются в волноводе-пластине, где происходит их фокусировка и интерференция — образуются пространственно разнесенные интерференционные максимумы интенсивности, соответствующие разным каналам. Геометрия волновода-пластины, в частности расположение выходных полюсов и длины волноводов структуры AWG, рассчитываются таким образом, чтобы интерференционные максимумы совпадали с выходными полюсами. Мультиплексирование происходит обратным путем.

Еще представлен другой способ построения мультиплексора, который базируется не на одной, а на паре волноводов-пластин. Принцип действия такого устройства аналогичен предыдущему случаю, за исключением того, что здесь для фокусировки и интерференции используется дополнительная пластина.

1.5 Транспондеры и трансиверы.

Для передачи данных на длине волны из сетки DWDM можно использовать два типа устройств — трансиверы и транспондеры DWDM. Трансиверы DWDM обладают различными форм-факторами и могут использоваться в пассивных решениях DWDM.

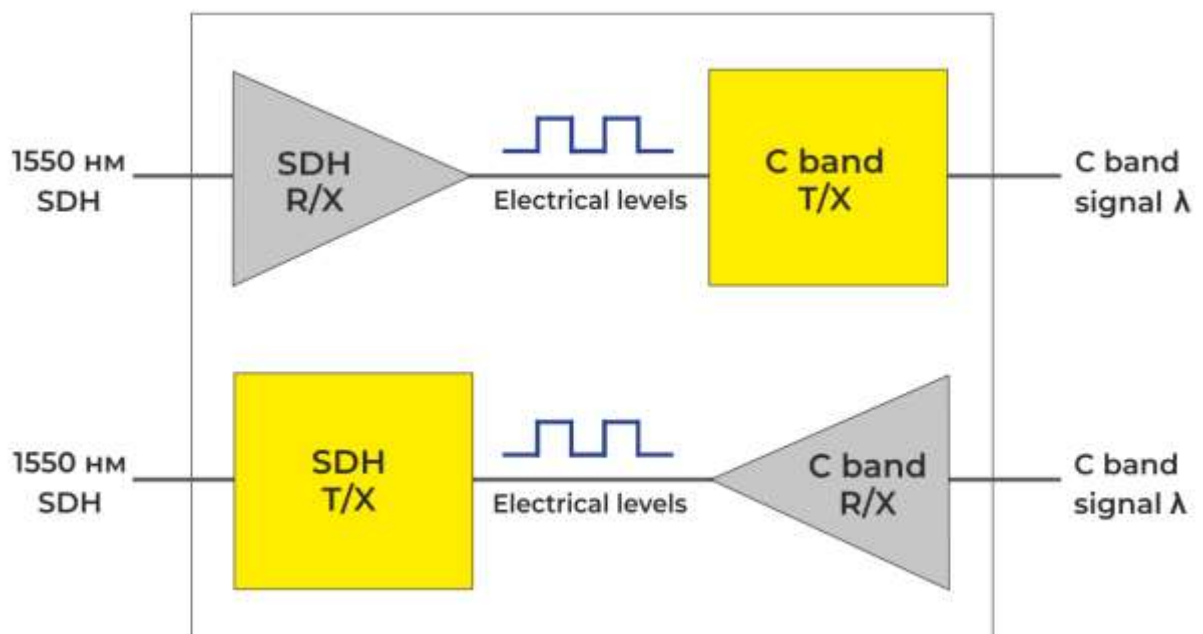


Рис. 3. Схема транспондера

В отличие от трансиверов, транспондеры позволяют преобразовать длину волны излучения оконечного устройства в длину волны DWDM для передачи в мультиплексор. На входы оптического мультиплексора поступают оптические сигналы, параметры которых

соответствуют стандартам, определенным рекомендациями G.692. Транспондер может иметь разное количество оптических входов и выходов, но, если на любой вход транспондера может быть подан оптический сигнал, параметры которого определены рек. G.957, то выходные его сигналы должны по параметрам соответствовать рек. G.692. При этом, если уплотняется m оптических сигналов, то на выходе транспондера длина волны каждого канала должна соответствовать только одному из них в соответствии с сеткой частотного плана ITU.

1.6 Применение оптических усилителей

Развитие технологии оптического усиления на основе EDFA сильно изменило методологию конструирования волоконно-оптических систем связи. Традиционные волоконно-оптические системы используют повторители-регенераторы, повышающие мощность сигнала, (Рис.5а). Когда длина между удаленными узлами начинает превосходить по условиям затухания сигнала максимально допустимую длину пролета между соседними узлами, в промежуточных точках устанавливаются дополнительные регенераторы, которые принимают слабый сигнал. Далее регенераторы усиливают этот сигнал в процессе оптоэлектронного преобразования, восстанавливают скважность, фронты и временные характеристики следования импульсов. После преобразования в оптическую форму передают дальше правильный усиленный сигнал в том же виде, в каком он был на выходе предыдущего регенератора.

Хотя такие системы регенерации работают хорошо, они являются весьма дорогими и, будучи установленными, не могут наращивать пропускную способность линии.

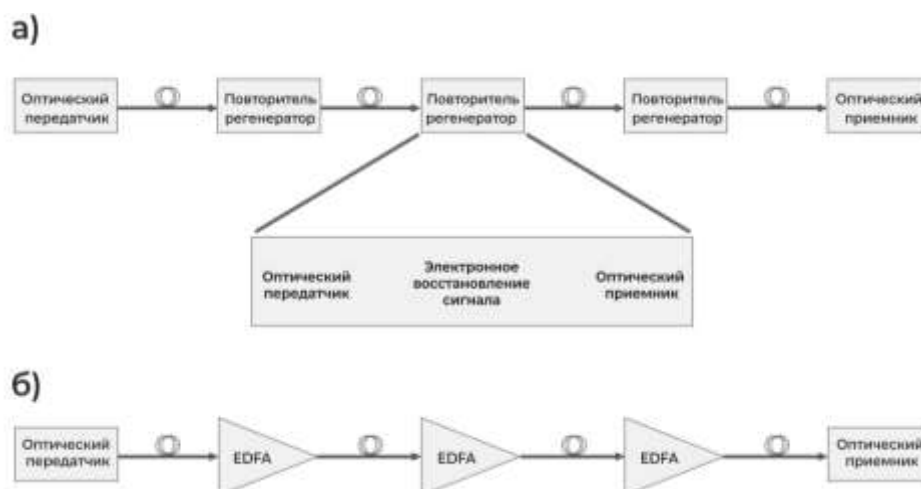


Рис. 5. Схема решений с использованием оптических усилителей

На основе EDFA потери мощности в линии преодолеваются путем оптического усиления, (Рис.56). В отличие от регенераторов, такое «прозрачное» усиление не привязано к битовой скорости сигнала, что позволяет передавать информацию на более высоких скоростях и наращивать пропускную способность до тех пор, пока не вступают в силу другие ограничивающие факторы, такие как хроматическая дисперсия и поляризационная модовая дисперсия. Также усилители EDFA способны усиливать многоканальный WDM сигнал, добавляя еще одно измерение в пропускную емкость.

Хотя оптический сигнал, генерируемый исходным лазерным передатчиком, имеет вполне определенную поляризацию все остальные узлы на пути следования оптического сигнала, включая оптический приёмник, должны проявлять слабую зависимость своих параметров от направления поляризации. В этом смысле оптические усилители EDFA, характеризуясь слабой поляризационной зависимостью коэффициента усиления, имеют ощутимое преимущество перед полупроводниковыми усилителями. В отличие от регенераторов оптические усилители вносят дополнительный шум, который необходимо учитывать. Поэтому наряду с коэффициентом усиления одним из важных параметров EDFA является коэффициент шума.

1.7 Применение устройств ROADM

Использование перенастраиваемого оптического мультиплексора ввода/вывода (ROADM) дает возможность гибкого развертывания и удаленного конфигурирования спектральных каналов.

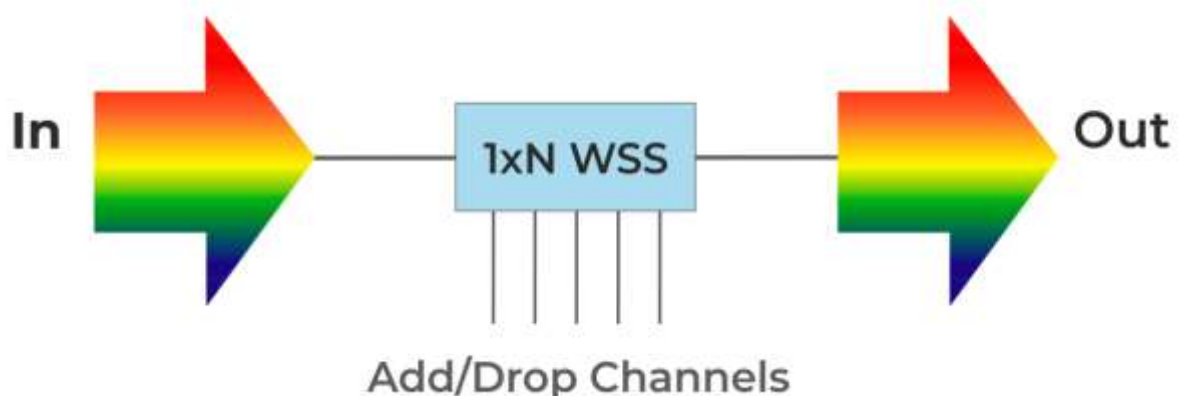


Рис. 6. Типовая схема использования ROADM в системах DWDM

На любом узле сети ROADM возможно переключение состояния спектрального канала на ввод/вывод и сквозную передачу без прерывания действующих услуг. При работе

с перестраиваемым лазером ROADМ обеспечивает гибкое управление спектральными каналами. ROADМ позволяют строить сети с несколькими кольцами или смешанные сети на основе технологии селекторного переключения спектральных каналов (WSS).

1.8 Основные свойства и схемы работы DWDM

Основным принципом технологии WDM (Wavelength-division multiplexing, частотное разделение каналов) является возможность передачи множества сигналов на различных несущих длинах волн в одном оптическом волокне. В российской телекоммуникационной отрасли системы передачи, созданные с помощью технологии WDM, называют «Системы уплотнения».

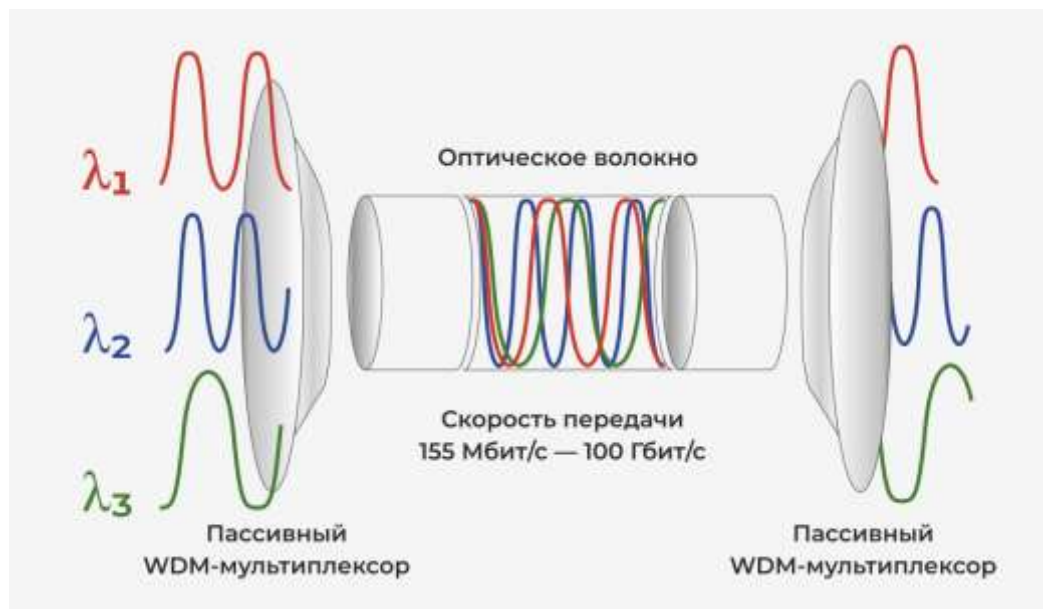


Рис. 7. Принципиальная схема xWDM-системы

В настоящее время существуют три типа WDM-систем:

CWDM (Coarse Wavelength-division multiplexing, грубое частотное разделение каналов) — системы с разносом оптических несущих на 20 нм (2500 ГГц). Рабочий диапазон 1261-1611 нм, в котором можно реализовать до 18-ти симплексных каналов. Стандарт МСЭ G.694.2

DWDM (Dense Wavelength-division multiplexing, плотное частотное разделение каналов) — системы с разносом оптических несущих на 0,8 нм (100 ГГц). Существуют два рабочих диапазона — 1525-1565 нм и 1570-1610 нм, в которых можно реализовать до 44-х симплексных каналов. Стандарт МСЭ G.694.1

HDWDM (High Dense Wavelength-division multiplexing, высокоплотное частотное разделение каналов) — системы с разносом оптических несущих на 0,4 нм (50 ГГц) и менее. Возможна реализация до 80-ти симплексных каналов.

Рабочие оптические диапазоны:

В данном обзоре рассматривается проблема мониторинга в системах уплотнения DWDM, более подробно с различными типами WDM-систем можно ознакомиться в статье «Уплотнение каналов ВОЛС».

В системах спектрального уплотнения DWDM может быть использован один из двух диапазонов несущих длин волн:

С-диапазон — 1525-1565 нм (возможны варианты: Conventional band или C-band)

L-диапазон — 1570-1610 нм (возможны варианты: Long wavelength band или L-band)

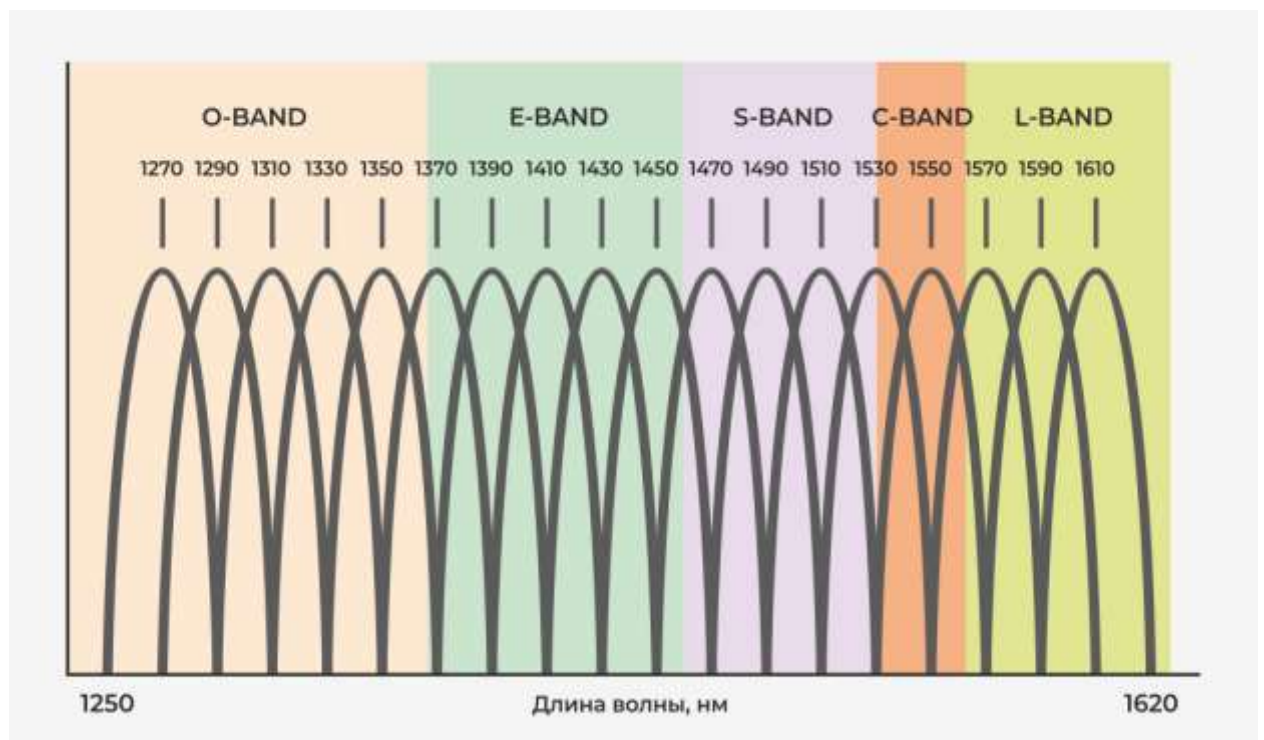


Рис. 8. Длины волн в системах спектрального уплотнения.

Деление на два диапазона обосновано использованием оптических усилителей с разными рабочими диапазонами усиления. С-диапазон — ширина полосы усиления для традиционной конфигурации усилителя составляет примерно 30 нм (1530-1560 нм). L-диапазон — для усиления в длинноволновом диапазоне конфигурация эрбиевого усилителя меняется путем удлинения эрбиевого волокна, вследствие чего и происходит смещение диапазона усиления в длины волн 1560-1600 нм.

В настоящее время в телекоммуникациях большое признание получило оборудование DWDM С-диапазона. Связано это с наличием различного оборудования, поддерживающего данный диапазон. Производителями оборудования выступают не только маститые отечественные компании и ведущие мировые бренды, но и многочисленные неизвестные азиатские производители.

Основным вопросом на любом участке системы уплотнения (независимо от типа) является уровень мощности в оптическом канале. Для начала разберемся, какие обычно составляющие входят в систему уплотнения DWDM.

Компоненты DWDM-системы:

- Транспондер;
- Мультиплексор/демультиплексор;
- Оптический усилитель;
- Компенсатор хроматической дисперсии;

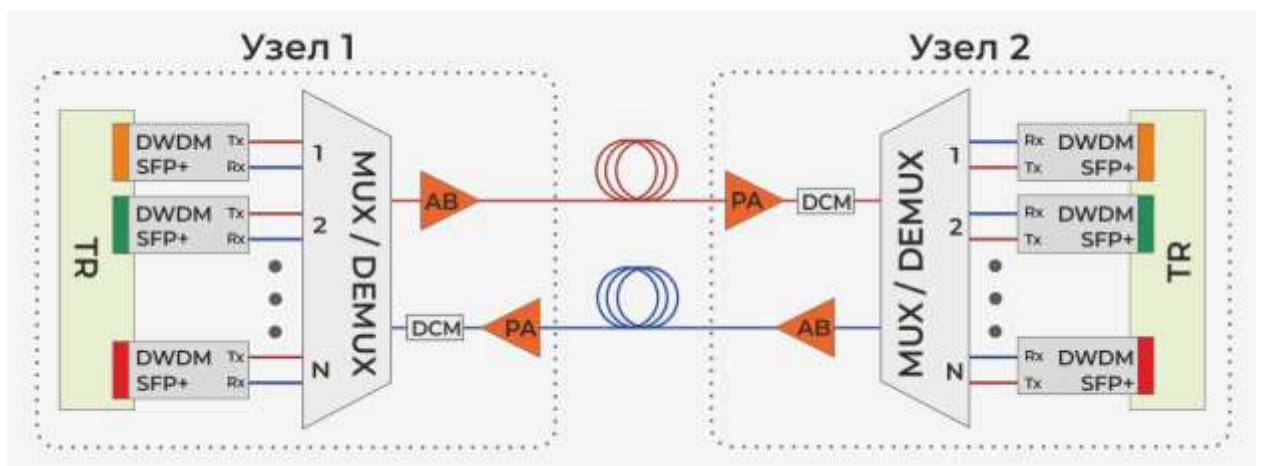


Рис. 9. Общая схема DWDM.

Стандартная схема состоит всего из двух типов активных компонентов — транспондера и усилителя, с помощью которых можно отслеживать текущий уровень мощности передаваемых сигналов.

Транспондер производит 3R-регенерацию («reshaping», «re-amplifying», «retiming» — восстановление формы, мощности и синхронизации сигнала), приходящего клиентского оптического сигнала. Транспондер может производить также конвертацию клиентского трафика из одного протокола передачи (зачастую Ethernet) в другой, более помехозащищенный (например, OTN с использованием FEC) и передавать сигнал в линейный порт.

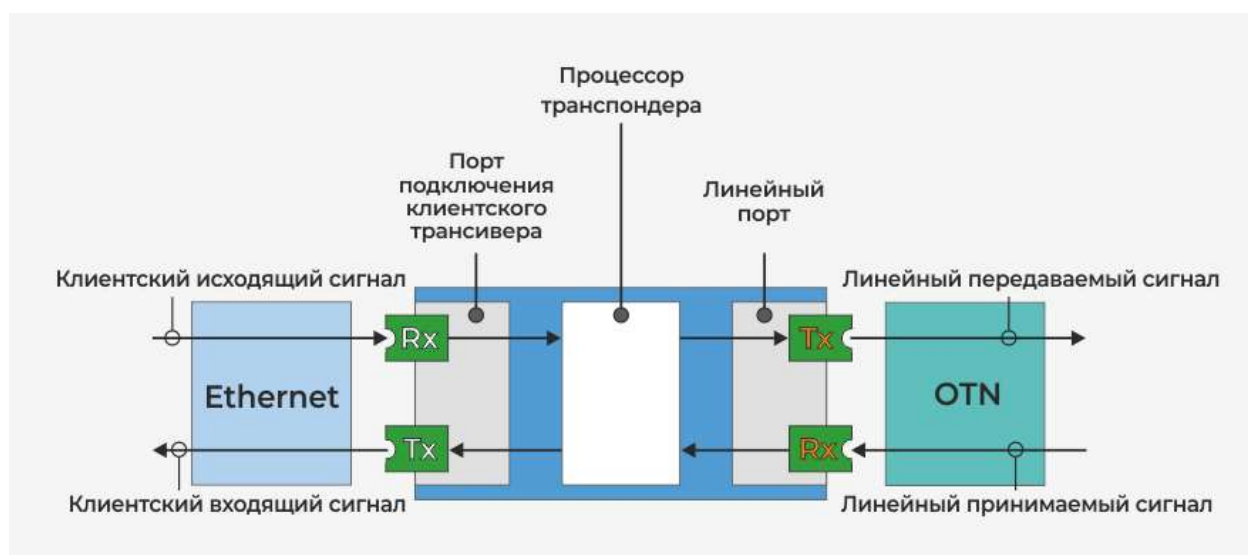


Рис. 10. Упрощенная схема транспондера.

В более простых системах в роли транспондера может выступать ОЕО-преобразователь, который производит 2R-регенерацию («reshaping», «re-amplifying») и без изменения протокола передачи передает клиентский сигнал в линейный порт.

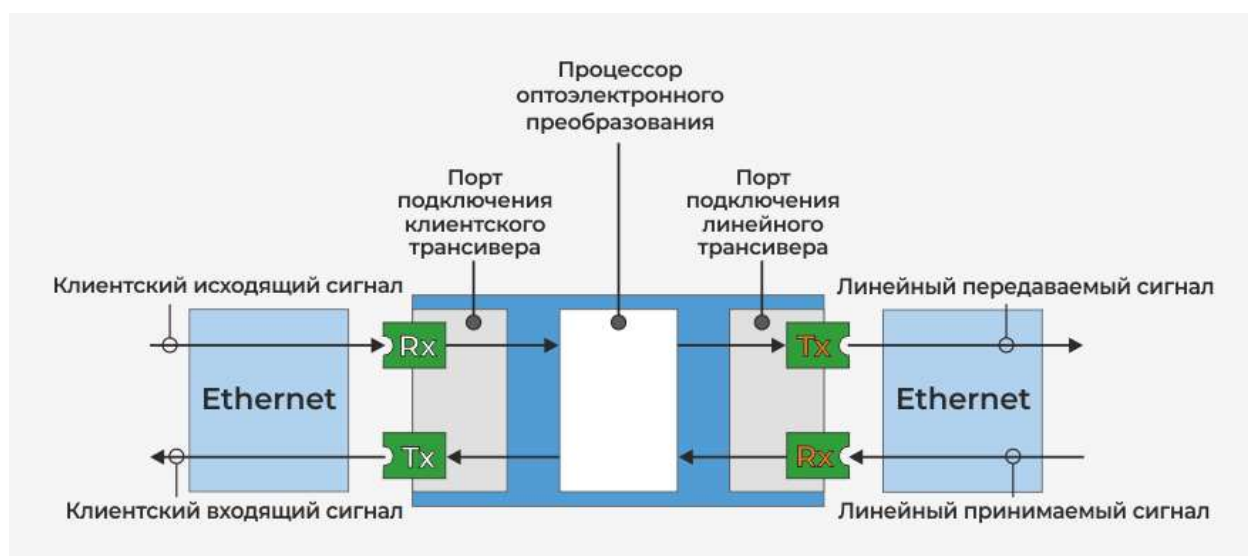


Рис. 11. Упрощенная схема ОЕО-преобразователя.

Клиентский порт зачастую выполняется в виде слота для оптических трансиверов, в который вставляется модуль для связи с клиентским оборудованием. Линейный порт в транспондере может быть выполнен в виде слота для оптического трансивера или в виде простого оптического адаптера. Исполнение линейного порта зависит от конструктива и назначения системы в целом. В ОЕО-преобразователе линейный порт всегда выполнен в виде слота для оптического трансивера. Во многих системах промежуточное звено — транспондер, исключается в целях снижения стоимости системы или из-за функциональной избыточности в конкретной задаче.

Оптический мультиплексор предназначен для объединения (смешения) отдельных WDM-каналов в групповой сигнал для одновременной их передачи по одному оптическому волокну. Оптические демультиплексоры используются для разделения принятого группового сигнала на приемной стороне. В современных системах уплотнения, функции мультиплексирования и демультиплексирования выполняет одно устройство — мультиплексор/демультиплексор (MUX/DEMUX).

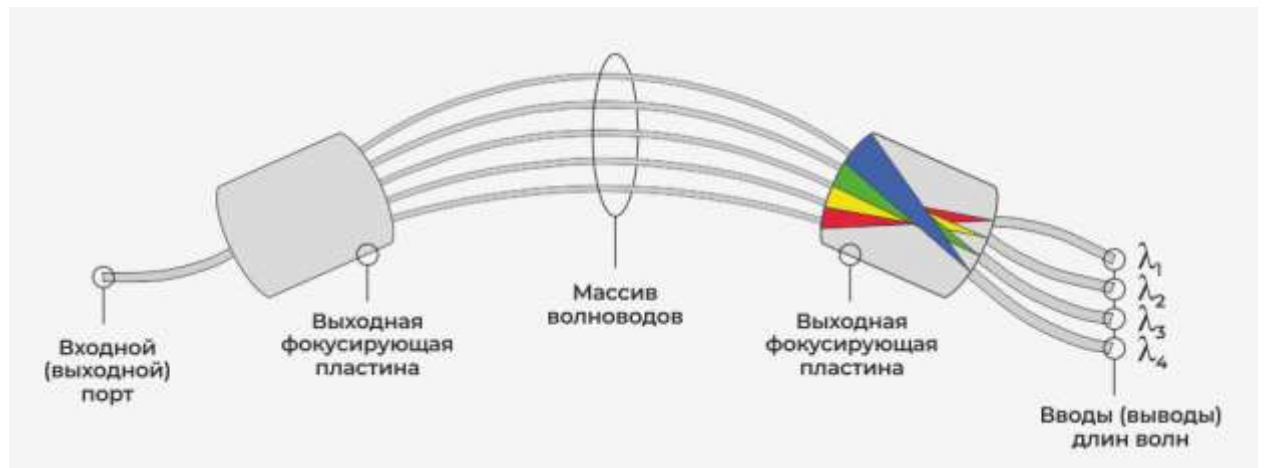


Рис. 12. AWG-мультиплексор

Мультиплексор/демультиплексор условно можно разделить на блок мультиплексирования и блок демультиплексирования.

Оптический усилитель на основе примесного оптического волокна, легированного эрбием (Erbium Doped Fibre Amplifier-EDFA), увеличивает (без предварительного демультиплексирования) мощность входящего в него группового оптического сигнала без оптоэлектронного преобразования. Усилитель состоит из двух активных элементов: активного волокна, легированного Er^{3+} и подходящей накачки.



Рис. 13. Принципиальная схема EDFA.

EDFA в зависимости от типа может обеспечить выходную мощность от +16 до +26 дБм. Существует несколько видов усилителей, применение которых определяется конкретной задачей:

Входные оптические усилители мощности (бустеры) — устанавливаются в начале трассы.

Оптические предусилители — устанавливаются в конце трассы перед оптическими приемниками

Линейные оптические усилители — устанавливаются на промежуточных узлах усиления для поддержания необходимой оптической мощности

Оптические усилители широко применяются на протяженных линиях передачи данных с системами спектрального уплотнения DWDM.

Компенсатор хроматической дисперсии (Dispersion Compensation Module) предназначен для исправления формы оптических сигналов, передаваемых в оптическом волокне, которые, в свою очередь, искажаются под влиянием хроматической дисперсии.

Хроматическая дисперсия — физическое явление в оптическом волокне — световые сигналы с разными длинами волн проходят одно и то же расстояние за разный промежуток времени, в результате чего происходит уширение передаваемого оптического импульса. Хроматическая дисперсия является одним из основных факторов, ограничивающим протяженность ретрансляционного участка трассы. Стандартное волокно имеет значение хроматической дисперсии около 17 пс/нм. Для увеличения протяженности ретрансляционного участка на линии передачи устанавливаются компенсаторы хроматической дисперсии. Установка компенсаторов зачастую требует линии передачи со скоростью 10 Гбит/с и более.

Существуют два основных типа DCM:

1. Волокно, компенсирующее хроматическую дисперсию — DCF (Dispersion Compensation Fiber). Основной составляющей частью данных пассивных устройств является волокно с отрицательным значением хроматической дисперсии в диапазоне длин волн 1525-1565 нм.

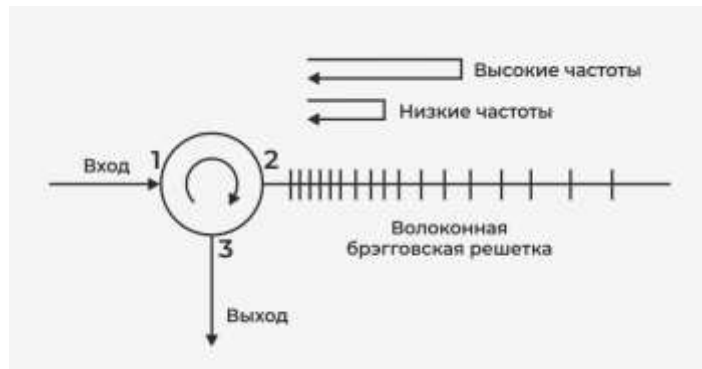


Рис. 14. Принципиальная схема DCM на решетке Брэгга

2. Компенсатор хроматической дисперсии на основе решетки Брэгга — DCM FBG (Dispersion Compensation Module Fiber Bragg Grating). Пассивное оптическое устройство, состоящее из chirпированного волокна и оптического циркулятора. Chirпированное волокно за счет структуры создает условно отрицательную хроматическую дисперсию входящих сигналов в диапазоне длин волн 1525-1600 нм. Оптический циркулятор в устройстве выполняет роль фильтрующего устройства, направляющего сигналы в соответствующие выводы.

Таким образом, стандартная схема состоит всего из двух типов активных компонентов — транспондер и усилитель, с помощью которых можно отслеживать текущий уровень мощности передаваемых сигналов.

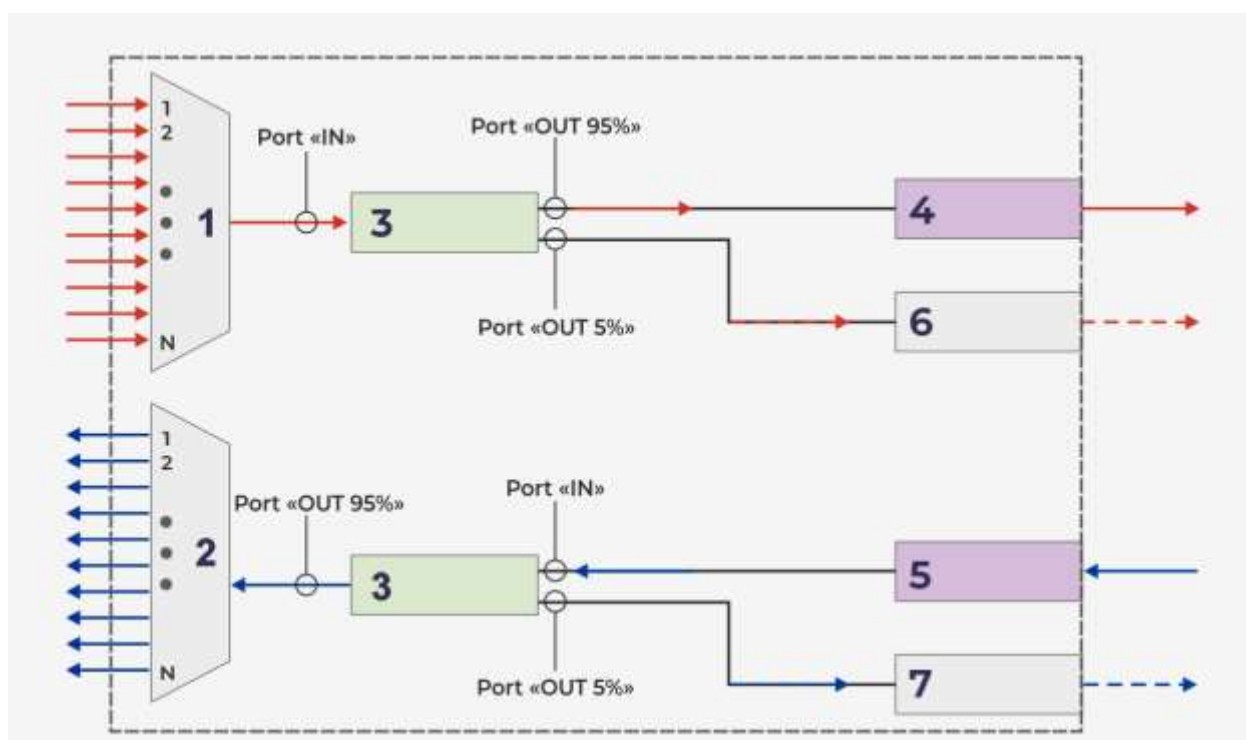
В транспондерах реализована функция мониторинга состояния линейных портов — на основе встроенной в оптические трансиверы функции DDMI или с организацией собственного мониторинга. Использование данной функции позволяет оператору получать актуальную информацию о состоянии определенного канала связи.

Оптические усилители представляют собой усилители с обратной связью, в них всегда присутствует функция мониторинга входного группового сигнала (суммарная оптическая мощность всех входящих сигналов) или функция мониторинга исходящего группового сигнала. Данный мониторинг неудобен для контроля конкретных каналов связи и может быть использован в качестве оценочного (наличие или отсутствие «света»). Таким образом, единственным инструментом контроля оптической мощности в канале передачи данных является транспондер.

Системы уплотнения состоят не только из активных, но и из пассивных элементов, поэтому организация полноценного мониторинга в системах уплотнения весьма востребована и является нетривиальной задачей.

Варианты организации мониторинга в системах уплотнения WDM.

В следствие естественных ограничений (особенности оборудования) вариантов организации мониторинга состояния пассивных элементов систем уплотнения WDM не так много. Одним из самых простых вариантов создания мониторинга пассивных мультиплексоров WDM является установка на линейные порты пассивных неравномерных делителей (Рис.15, обозначения «4» и «5»). Неравномерный делитель зачастую представляет собой пассивный оптический сплиттер сварного типа или биконический сплиттер. Включение в схему разветвителей необходимо для организации отвода тестовой оптической мощности. После разветвителя тестовый сигнал можно вывести через оптический порт в измерительное оборудование или завести на широкополосный фотоприемник (Рис. 15, обозначения «6» и «7»).



1 Оптический пассивный мультиплексор

5 Линейный выход (Tx)

2 Оптический пассивный демультиплексор

6 Порт пассивного оптического мониторинга (Tx)

3 Оптический неравномерный разветвитель

7 Порт пассивного оптического мониторинга (Rx)

4 Линейный вход (Rx)

Рис. 15. Мультиплексор с пассивным мониторингом

Зачастую организуется только оптический порт для подключения измерительного оборудования, так как установка фотодиодов влечет за собой не только проработывание вопроса электропитания, но и разработку хоть и простейшей, но платы управления. А с

учетом того, что широкополосный фотоприемник сможет детектировать только групповой уровень сигнала, пользы от данной информации мало, а значит и затраты бессмысленны. В роли подключаемого оборудования долгое время были или простейшие измерители оптической мощности (оценочный характер измерений, наличие или отсутствие «света», как и в случае встроенных фотодиодов) или дорогие спектроанализаторы, с помощью которых проводились прецизионные измерения не только мощностей оптических сигналов, но и качество спектров, передаваемых или фильтруемых сигналов системы в зависимости от места тестирования.

В начале 2000-х годов, когда размеры устройств оптического уплотнения стали миниатюризоваться, на рынке измерительного оборудования начали появляться WDM-измерители оптической мощности. Данные устройства в эксплуатации более просты, чем спектроанализаторы — размеры приборов и принцип измерений, как у обычных измерителей оптической мощности, но с возможностью проведения измерений каждой несущей в выбранном WDM-диапазоне. Все результаты измерений выводятся на ЖК-дисплей устройства и могут быть сохранены, измерение отводимых тестовых сигналов стало значительно проще.

Основным неудобством пассивного мониторинга является весьма малый оптический сигнал, который выделяется в тестовые отводы и создает две основные проблемы:

Конечное значение необходимо вычислять с учетом процентного деления ответвителя.

Большая измерительная погрешность (связана все с той же малой выделяемой мощностью)

Следует отметить, что для проведения измерений необходимо иметь в арсенале хорошее измерительное оборудование и большой штат обслуживающего персонала, который не только умеет пользоваться данным оборудованием, но и весьма мобилен, так как у одного провайдера может быть не одна линия передачи, построенная по технологии WDM.

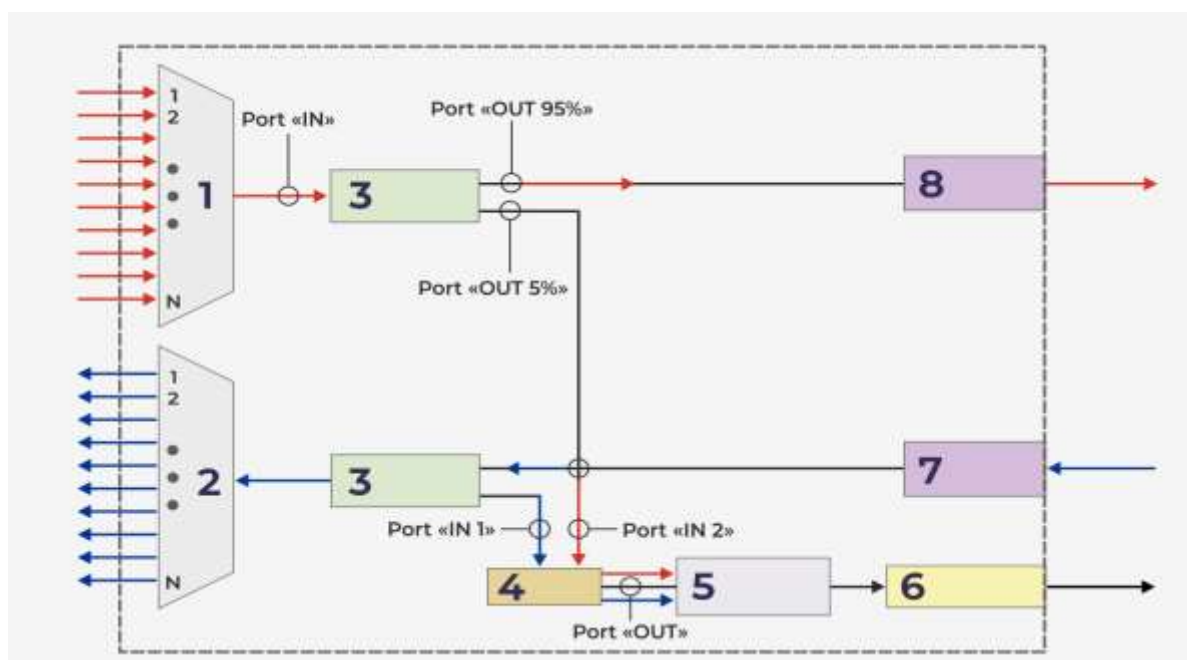
Главным плюсом пассивного мониторинга является простота и экономичность реализации (измерительное оборудование и квалифицированный штат обслуживающего персонала не учитывается).

На данный момент существует два решения активного мониторинга пассивных WDM-компонентов:

Мультиплексор со встроенной активной системой мониторинга

Перестраиваемый мультиплексор — ROADM (данный тип устройств достаточно сложен и имеет множество реализаций «в железе»).

Мультиплексор со встроенной активной системой мониторинга позволяет производить одновременный контроль уровней оптической мощности всех сигналов, поступающих в мультиплексор (с клиентской стороны и с линейной).



- | | |
|---|---|
| 1 Оптический пассивный мультиплексор | 5 Измеритель оптической мощности DWDM |
| 2 Оптический пассивный демультиплексор | 6 Интерфейс предоставления служебной информации |
| 3 Оптический неравномерный разветвитель | 7 Линейный вход (Rx) |
| 4 Оптический переключатель | 8 Линейный выход (Tx) |

Рис. 16. Мультиплексор с активным мониторингом

Схема построения мультиплексора с активным блоком мониторинга во многом повторяет схему реализации простейшего пассивного мониторинга с использованием WDM-тестера оптических сигналов. Для отвода тестового сигнала используются ответвители с неравномерным делением (Рис 16. обозначение «3»). Далее тестовый сигнал попадает на оптический переключатель типа 2x1 (Рис 16. обозначение «5»), с помощью которого выбирается какой из двух тестовых сигналов уйдет на измеритель оптической мощности.

Измеритель оптической мощности состоит из Athermal AWG демультиплексора и ПЗС-матрицы, вклеенной в выходную фокусирующую пластину. Ниже приведена

фотография аналогичного блока для CWDM-сигналов, в случае CWDM используются тонкопленочные фильтры и фотодиоды. Принцип работы подобного блока измерения оптической мощности довольно прост: измеряемый групповой сигнал подается на входной оптический порт, далее сигнал попадает на фокусирующую грин-линзу (Рис 17. см. «Устройство мультиплексоров/демультиплексоров CWDM»), которая фокусирует сигнал на первый оптический фильтр, далее системой зеркал с применением дополнительных скип-фильтров групповой сигнал разбивается на отдельные длины волн и принимается фотодетекторами. Информация с фотодетекторов передается на решающее устройство, а далее к клиенту в той или иной форме.



Рис. 17. Измеритель оптической мощности.

В измерителе, соответственно, происходит оптоэлектронное преобразование и на плату мониторинга поступает оперативная информация об уровне мощности каждого сигнала, далее эта информация передается программе-клиенту.

Можно исключить из схемы оптический переключатель, установив вместо него еще один измеритель, но данный шаг повлечет за собой увеличение себестоимости устройства в 1,5 раза.

С учетом вышеизложенных особенностей архитектуры построения (на блок измерения отводится достаточно малая величина сигнала $\leq 5\%$) система контроля имеет измерительную погрешность $\leq \pm 0,8$ дБ. Данная величина погрешности измерения рассчитана для демультиплексора (Рис, обозначение «2») и является максимальной, так как входящие сигналы весьма маломощные, средняя величина $-18...-8$ дБм (отводимая оптическая мощности на блок измерения $-31...-21$ дБ). В то время как для мультиплексора (Рис, обозначение «1») погрешность измерения будет составлять $\leq \pm 0,2$ дБ,

так как отводимая оптическая мощность равна -15...-12 дБ, что является нормальной величиной для измерительного оборудования ВОЛС.

Основным отличием и плюсом активной системы мониторинга является использование программы-клиента, которая позволяет удаленно получать оператору оперативную информацию, что значительно упрощает работу с системой уплотнения и не требует присутствия обслуживающего персонала в непосредственной близости от оборудования. Также следует отметить, что наличие функции мониторинга мультимплексора упрощает проведение инсталляции и не требует дополнительного измерительного оборудования в процессе установки и коммутации системы в целом.

В технологии DWDM минимальная дискретность сигнала — это оптический канал или длина волны. Использование целых длин волн с емкостью канала 2,5 или 10 Гбит/с для обмена трафиком между подсетями оправдано для построения больших транспортных сетей. Но транспондеры-мультиплексоры позволяют организовать обмен трафиком между подсетями на уровне сигналов STM-4/STM-1/GE. Уровень распределения можно строить и на базе SDH-технологии. Но DWDM имеет большое преимущество, связанное с прозрачностью каналов управления и служебных каналов (например, служебной связи). При упаковке SDH/ATM/IP-сигналов в оптический канал структура и содержимое пакетов не изменяются. Системы DWDM проводят только мониторинг отдельных байтов для контроля правильности прохождения сигналов. Поэтому соединение подсетей по инфраструктуре DWDM на отдельно взятой длине волны можно рассматривать как соединение парой оптических кабелей.

При использовании оборудования разных производителей, две подсети передачи данных одного производителя соединяют через DWDM-сеть другого производителя. Система управления, подсоединенная физически к одной подсети, может управлять и работой другой подсети. Если бы на уровне распределения использовалось SDH-оборудование, то это было бы невозможно. Таким образом, на базе DWDM сетей можно объединять сети разных производителей для передачи разнородного трафика.

1.9 Обоснование строительства оптической линии связи.

При учете быстрого роста населения и бурного развития информационных технологий, в сфере мобильной передачи данных, требующих резкого увеличения широкополосных средств доступа к информационным услугам (телевидение на мобильном устройстве, интернет, электронные кошельки), возникает необходимость организации все более и более

высокоскоростных линий связи. Существующие в данный момент линии (РРЛС) между городами Бишкек и Чалдовар не предоставляют возможность полностью удовлетворить потребность в организации высокоскоростного обмена трафика при неизменно высоком качестве передаваемой информации. Примем во внимание, что использование волоконных систем с применением технологии DWDM позволяет увеличивать скорость передачи в перспективе путем добавления новых длин волн при более плотном их мультиплексировании, при этом усложняя лишь оконечное оборудование и не организовывая прокладки новых кабелей. Таким образом, наиболее эффективным способом организации связи между городами Бишкек и Чалдовар представляется именно строительство волоконно-оптической линии связи с использованием спектрального разделения каналов.

Глава 2. ВЫБОР ТРАССЫ И ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ.

2.1 Основные требования к выбору трассы.

В данной главе происходит анализ возможных вариантов прокладки ВОЛС при учете особой специфики подобных проектов.

Организация связи с использованием волоконно-оптических кабелей связи имеет ряд принципиальных отличий от традиционных медных кабелей. Особое внимание при проектировании трассы должно быть уделено следующим факторам присущим исключительно ВОСП:

- Повышенное влияние сварочных соединений и съемных коннекторов;
- Большие строительные длины ВОК;
- Различия в конструкции ВОК, на характеристики возможного изгиба и допустимый диапазон температур;
- Учет специфики трассы и рельефа местности;
- Важность уровня подготовленности специалистов на этапах прокладки кабеля, непосредственно самой прокладки и последующего обслуживания.

Выбор оптимального варианта трассы кабельной линии и его оценку следует осуществлять исходя из основных условий:

- Минимальной длины трассы;
- Размещения трассы, для охвата крупных населенных пунктов;
- Наименьшего числа пересечений с автомобильными дорогами, с подземными сооружениями и с водными преградами, выполнения наименьшего объема работ по строительству линейно-кабельных сооружений;
- возможности максимального применения при строительстве машин, механизмов и кабелеукладочной техники;
- минимальных затрат по защите кабелей от ударов молнии, всех видов опасных и мешающих электромагнитных влияний, и коррозии;
- обеспечения лучших условий эксплуатации линейных сооружений и надежной их работы.

Необходимо рассмотреть ряд вариантов возможного прохождения магистрали связи, наиболее выгодными для строительства представляются следующие варианты:

- 1 вариант - вдоль автомагистрали
- 2 вариант – вдоль железной дороги.

Рассмотрим наиболее влияющие на окончательный выбор трассы факторы:

Таблица 1: Анализ строящейся магистрали.

Наименование	Ед. Изм.	1 вариант	2 вариант
Протяженность трассы	КМ	93	82
Переходы через ЛЭП	Переход	19	5
Переходы через реки (оросит. каналы)	Переход	17	8
Переходы через авторазвязки	Переход	44	24

Анализируя перечисленные факторы, можно сделать вывод, что предпочтительнее для строительства второй вариант магистрали. Первое, меньшая общая длина трассы позволит сократить затраты на приобретение кабельной продукции и на работы по прокладке, стоит учесть, что эта статья расходов в бюджете является основной. Во-вторых, при использовании второго варианта сокращается число переходов через авторазвязки дороги. Прокладка кабеля по электроопорам железнодорожной линии сопряжена со значительными проблемами: гораздо более сложный процесс монтажа кабеля и подвоз материалов, работа вблизи высоковольтных линий электропередачи.

Вместе с тем, первый вариант предполагает большее количество пересечений с асфальтированными автомобильными дорогами, хотя современная технология прокладки волоконно-оптического кабеля методом прокола помогает существенно минимизировать трудоемкость и временные затраты на подобные операции, но остается риск того, что кабель может быть поврежден строительной техникой из-за модернизации дороги и прокладке сопутствующих коммуникаций. Также, число переходов через реки и прочие водоёмы при выборе второго варианта меньше, и с учетом этого обстоятельства, что строительство будет проходить вдоль железной дороги государственного значения, то преодоление водных преград предполагается осуществлять с использованием электрических опор, без прокладки по дну. Использование электрических опор влечет за собой ряд сложностей, необходимо учитывать обстоятельства воздействия совершенно иных, нежели в грунте, воздействий окружающей среды: ветер, оледенение. Существенное значение имеет возникновение излишнего механического воздействия, возникающего при применении тяжелого кабеля. Негативный эффект от данных факторов предполагается частично компенсировать использованием уменьшением длины пролета, и переходов под автомагистралями путем прокола под автодорогой.

2.2 Описание трассы прокладки кабеля и описание кабеля.

В связи с развитием услуг IP-TV, предоставлением абонентам новых высокоскоростных Интернет - тарифов, строительством сети сотовой связи четвертого (в будущем пятого) поколения, требуется значительно увеличить пропускную способность до населенных пунктов: с. Сокулук, с. Беловодское, г. Кара-Балта, г. Каинды, с. Чалдовар. Данный дипломный проект является также проектом резервной линии передачи существующего участка магистральной сети г. Бишкек – г. Кара-Балта. Существующая трасса прокладки внутризонового кабеля проходит по территории Чуйской области методом подвески кабеля на опоры ЛЭП. Климат области типично резко-континентальный, зима холодная, непродолжительная. Лето сильно теплое, даже зачастую жаркое. Среднегодовая температура от $+10^{\circ}$ до $+12^{\circ}\text{C}$, средняя температура июля, самого теплого месяца, плюс 24°C , самого холодного – января минус $3,2^{\circ}\text{C}$. Максимальная температура летом достигает плюс 40°C , зимой снижается до минус 19°C . Среднегодовое количество осадков 350-430 мм. В зимний период (в начале ноября) редко образуется снежный покров, мощность которого 4-10 см, местами достигает 30 см. Замерзание рек начинается в ноябре, а вскрытие их происходит в середине февраля - начале марта. Территория Чуйской области характеризуется устойчивым сезонным промерзанием поверхности земли. Южный контур зоны многолетнемерзлых пород проходит на границе области, так как она находится высоко в горах. Промерзание почвы в зимнее время в среднем составляет 0.8 м, при максимуме 1,1 м. На территории области развита густая речная сеть, много озёр и искусственных водоемов - прудов и водохранилищ. Болота занимают около 2% территории. Реки области имеют преимущественно снеговое (ледниковое) питание с участием дождевого и грунтового. По сезонам года происходит смена ведущей роли основных источников питания. Летом и осенью это дождевое, ледниковое питание с участием грунтового. Зимой - грунтовое, весной - снеговое. В период весеннего половодья уровень воды повышается на 0.5-1 м.

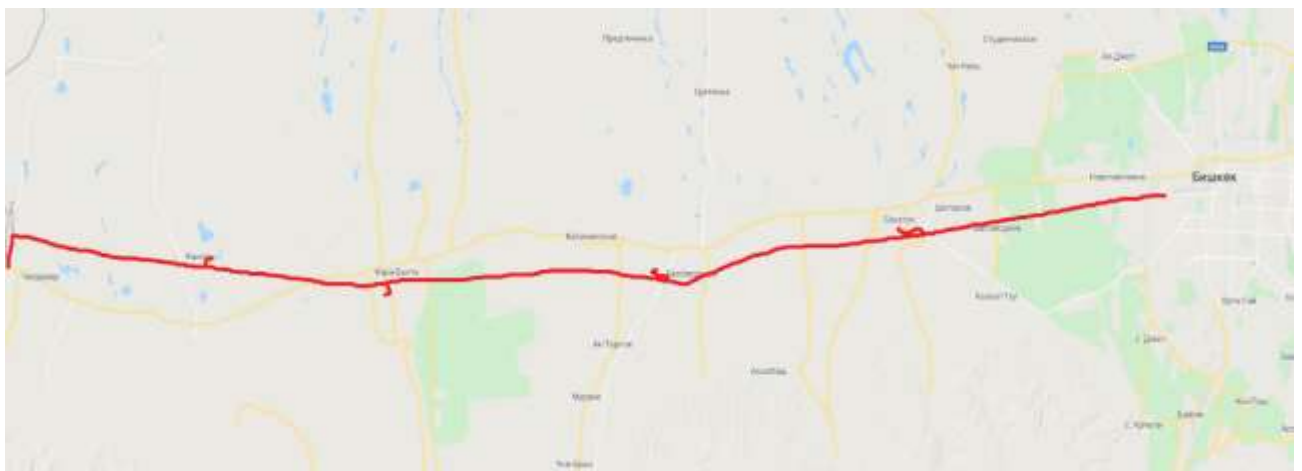


Рис. 18. Схема области с протяжкой оптического кабеля.

Строительство ВОЛС планируется вести по левой стороне от железной дороги относительно направления Бишкек-Чалдовар, на 4 пунктах магистрали планируется установка усиливающего оборудования, и дальнейшая прокладка кабеля по населенным пунктам Сокулук, Беловодское, Кара-Балта, Каинды. Благодаря такому расположению кабеля удастся заметно повысить качество сигнала, минимизировать участки повреждения кабеля, позволит в будущем развить сеть до технологии CWDM, FTTH и GePON.

Для нашего проекта будем использовать кабель марки ЭКБ–ДПУ– П – 24 – Е фирмы ООО «Эликс-Кабель», который применяется компанией ООО «НУР Телеком» на протяжении всей магистрали в этом регионе. Строительная длина данного кабеля равна 4 км. Поперечное сечение кабеля представлено на рисунке 19.

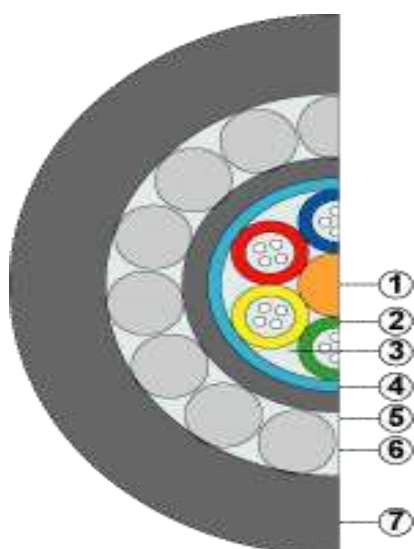


Рис. 19. Конструкция кабеля ЭКБ-ДПУ-П-24-Е (конструкция полностью диэлектрическая)

1. Центральный силовой элемент (ЦСЭ) — стеклопластиковый диэлектрический стержень.
2. Оптический модуль со свободно уложенными волокнами в оболочке из ПБТ и заполненный гидрофобным наполнителем.
3. Межмодульный гидрофобный наполнитель.
4. Алюмополиэтиленовая лента.
5. Промежуточная оболочка из полимерного материала.
6. Броня арамидной ленты и кевлара.
7. Наружная пластиковая оболочка.

Кабель предназначен для подвески на опорах воздушных линий связи, контактной сети железных дорог, линий электропередач, в том числе при особо высоких требованиях по устойчивости к внешним электромагнитным воздействиям. Основные характеристики кабеля приведены ниже.

Параметр	Значение
Коэффициент затухания, дБ/км, не более:	
на длине волны 1,31 мкм	0,35
на длине волны 1,55 мкм	0,22
Хроматическая дисперсия, пс/нм км, не более:	
на длине волны 1,55 мкм	18
на длине волны 1,55 мкм	3,5
Механические характеристики:	
Стойкость к статическим растягивающим усилиям	8-25 кНт
Стойкость к динамическим растягивающим усилиям	Более 15%, чем к статическим
Стойкость к раздавливающим усилиям	1 кН/см
Минимальный радиус изгиба	20 внешних диаметров кабеля
Массогабаритные характеристики:	
Внешний диаметр кабеля	17,5 мм
Расчетная масса километра кабеля, не более	550 кг
Климатические характеристики:	
Рабочая температура	-60 °С : +70 °С
Температура монтажа	-10 °С : +60 °С
Температура транспортировки и хранения	-50 °С : +50 °С

$$N_{\Sigma O} = N_{\text{осн}} + N_{\text{рез}} + N_{\text{мест}} + N_{\text{арен}} = 2 + 2 + 8 + 16 = 24 \quad (2.2.1)$$

2.3 Основные характеристики DWDM оборудования.

Правильный выбор системы передачи для организации волоконно-оптической линии связи имеет огромное значение. Выбранное оборудование должно полностью удовлетворять требованиям по качеству передаваемой информации. Следует учесть, что трасса Бишкек-Чалдовар, между которыми планируется строительство ВОЛС, являются участком крупными населенными пунктами, важнейшими экономическими зонами Кыргызской Республики и как следствие, вопрос о надежности системы связи, бесперебойности и высокой скорости передачи информации стоит наиболее остро и должен иметь одно из решающих значений при окончательном выборе.

На рынке существует множество предложений систем WDM. Рассмотрим подробно некоторые из них:

Таблица 1. Основные характеристики систем WDM.

Модель	Компания	Число оптических каналов	Частотный план	Интерфейсы	Скорость в оптическом канале	Дальность передачи без электрической регенерации
Alcatel 1686 WM	Alcatel	16	200 ГГц	PDH, STM-1/4/16. 10 Гбит\сек	10 Гбит\сек	900
Alcatel 1640 WM	Alcatel	40/80	50/100 ГГц	PDH, STM-1/4/16. 10 Гбит\сек	10 Гбит\сек	900
WaveStar OLS-80G	Lucent Technologies	16/32	100 ГГц	STM-1/4/16, Fast Ethernet. Gigabit Ethernet	10 Гбит\сек, 2,5Гбит\сек	640
WaveStar OLS-1.6T	Lucent Technologies	160	50 ГГц	STM-1/4/16, Fast Ethernet. Gigabit Ethernet	10 Гбит\сек	640
WaveLine MN	Siemens	32/64	н/д	STM-1/4/16, Fast Ethernet. Gigabit Ethernet, PDH, ATM	2,5Гбит\сек	100
MTS 2	Siemens	40/160/640	50 ГГц	STM-1/4/16, Fast Ethernet. Gigabit Ethernet, PDH, ATM	40 Гбит\сек 10 Гбит\сек, 2,5Гбит\сек	1500
WL	Siemens	8/16	200/100 ГГц	STM-1/4/16, Fast Ethernet. Gigabit Ethernet, PDH, ATM	10 Гбит\сек, 2,5Гбит\сек	300/900
OptiX BWS 320G	Huawei Technologies	32	100 ГГц	PDH, STM-1/4/16. 10 Гбит\сек	10 Гбит\сек	640

OptiX Metro	Huawei Technologies	32/64	200/100 ГГц	PDH, Fast Ethernet. Gigabit Ethernet, STM-1/4/16/64	10 Гбит\сек	н/д
ZXWM-32	ZTE Corporation	32	н/д	PDH, STM-1/4/16 IP, ATM	н/д	640
XDM-500	ECI Telecom	8	н/д	STM-1/4/16, Fast Ethernet. Gigabit Ethernet, PDH, ATM	2,5Гбит\сек	н/д
XDM-1000	ECI Telecom	40	н/д	STM-1/4/16, Fast Ethernet. Gigabit Ethernet, PDH, ATM	2,5Гбит\сек	н/д
XDM-2000	ECI Telecom	80	н/д	STM-1/4/16, Fast Ethernet. Gigabit Ethernet, PDH, ATM	2,5Гбит\сек	н/д
OPTera Metro 5000	Nortel Networks	32/64	н/д	STM-1/4/16, Fast Ethernet.	2,5Гбит\сек	н/д
OPTera Long Houl 1600	Nortel Networks	160	н/д	STM-1/4/16, Fast Ethernet. Gigabit Ethernet, PDH, ATM	40 Гбит\сек 10 Гбит\сек,	н/д

2.4 Системы передачи, используемые в сетях связи Кыргызской Республики.

Для организации передачи данных по оптическому волокну на дальние расстояния применяются системы связи, использующие технологии SDH и DWDM.

SDH (Synchronous Digital Hierarchy) – это технология транспортных телекоммуникационных сетей, позволяющая организовывать передачу данных по оптическому волокну с максимальной скоростью до 40 Гбит/с.

Система SDH обеспечивает стандартные уровни информационных структур, то есть набор стандартных скоростей. Базовый уровень скорости — STM-1 155,52 Мбит/с. Цифровые скорости более высоких уровней, таких как 622 Мбит/с (STM-4), 2.5 Гбит/с (STM-16) и 10 Гбит/с (STM-64), могут быть сформированными при помощи низкоскоростных информационных модулей (STM-1) посредством побайтового мультиплексирования.

Стандартизация интерфейсов определяет возможность соединения различного оборудования от разных производителей. Система SDH обеспечивает универсальные

стандарты для сетевых узловых интерфейсов, включая стандарты на уровне цифровых скоростей, структуру фрейма, метод мультиплексирования, линейные интерфейсы, мониторинг и управление. Поэтому SDH оборудование от разных производителей может легко соединяться и устанавливаться в одной линии, что наилучшим образом демонстрирует системную совместимость. SDH имеет высокую совместимость. Это означает, что сеть передачи SDH и существующая сеть PDH могут работать совместно, пока идет установление сети передачи SDH. Сеть SDH может быть использована для передачи услуг PDH, а также сигналов других иерархий, таких как ATM, Ethernet.

Базовый транспортный модуль (STM-1) может размещать и три типа сигналов PDH, и сигналы ATM, FDDI. Это обуславливает двустороннюю совместимость и гарантирует бесперебойный переход от сети PDH к сети SDH и от SDH к ATM. Для размещения сигналов этих иерархий SDH мультиплексирует низкоскоростные сигналы различных иерархий в структуру фрейма STM-1 сигнала на границе сети (стартовая точка — точка ввода) и затем демультиплексирует их на границе сети (конечная точка — точка вывода). Таким образом, цифровые сигналы различных иерархий могут быть переданы по сети передачи SDH.

Главным недостатком при использовании PDH технологии для реализации проектируемой магистрали связи является недостаточно высокая скорость и необходимость использования для каждого передаваемого транспортного модуля STM отдельного волоконного световода, что приводит к необходимости применения кабелей со значительно большим количеством волокон.

Суть же технологии оптического уплотнения DWDM заключается в возможности организации множества раздельных сигналов SDH по одному волокну, а, следовательно, многократном увеличении пропускной способности линии связи.

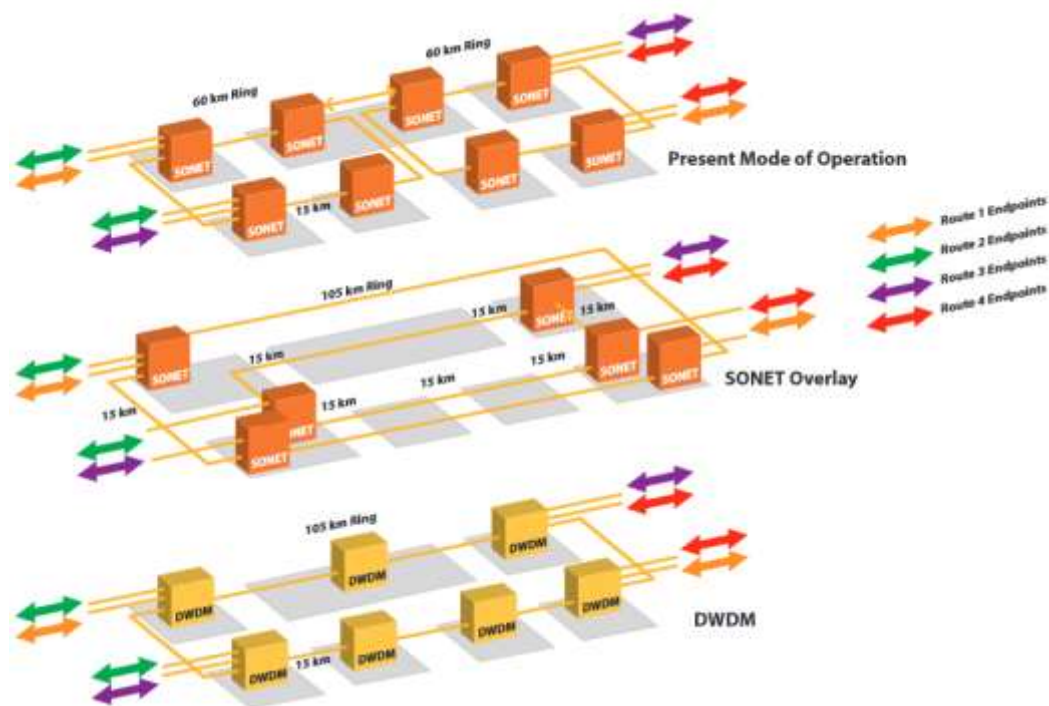


Рис. 20. Различия в организации SDH и DWDM сетей.

Передаваемый по технологии DWDM световой поток, состоит из различных длин волн. То есть по одному волокну можно передавать более сотни стандартных каналов.

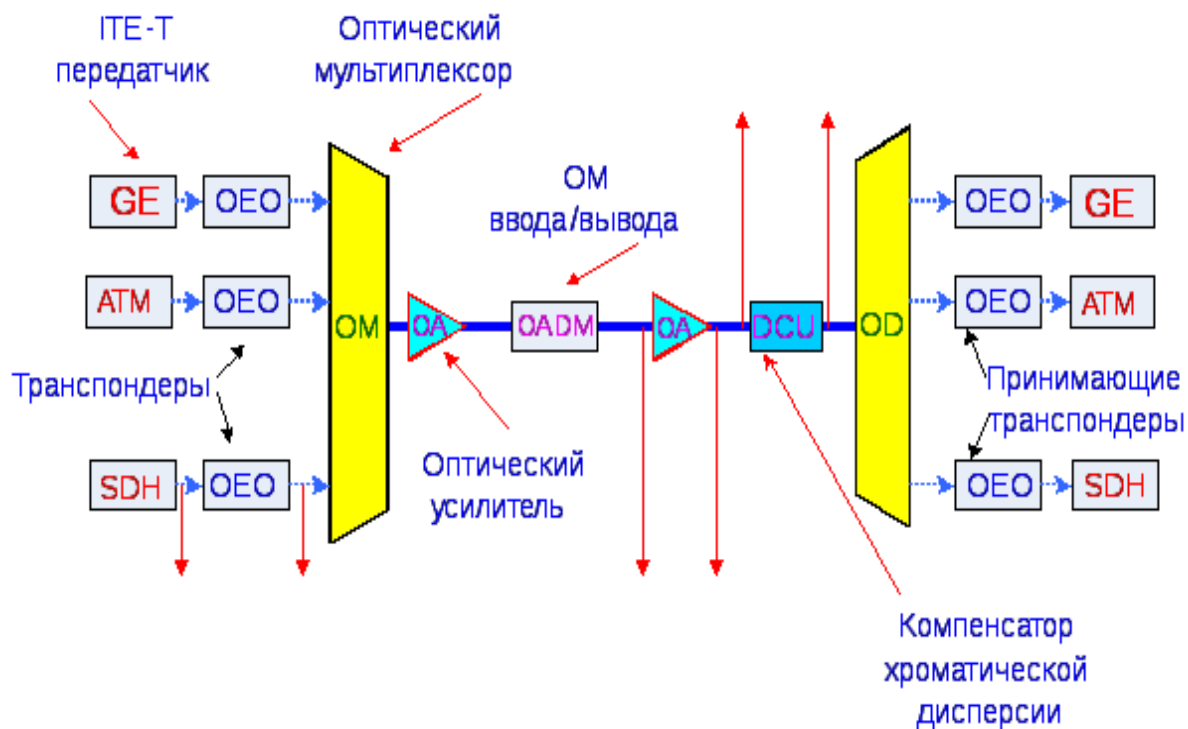


Рис. 21. Спектральное уплотнение оптических каналов.

Так, современная аппаратура, используемая при построении DWDM-сети, в максимальной конфигурации позволяет задействовать до 160 длин волн, а благодаря технологии расширенного С-диапазона можно увеличить емкость оптического волокна еще на 20%, до 192 длин волн.

Принципиальная схема DWDM достаточно проста. Для того чтобы организовать в одном волокне несколько оптических каналов, меняют оптическую длину волны для каждого компонентного SDH сигнала. Далее такие сигналы смешиваются при помощи мультиплексора и передаются в оптическую линию. В конечном пункте происходит обратная операция - сигналы SDH выделяются из группового сигнала и передаются потребителю.

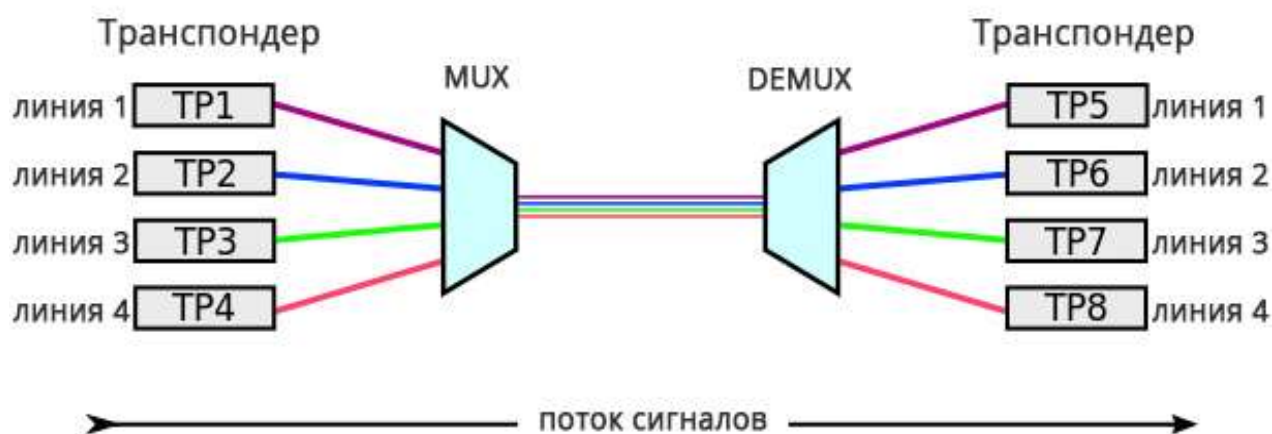


Рис. 22. Мультиплексирование оптических каналов.

Для того, чтобы передавать по одному волокну множество волновых потоков, технология DWDM обеспечена оборудованием особой точности. Так, погрешность длины волны, которую обеспечивает стандартный лазер, применяемый в телекоммуникациях, примерно в сто раз больше, чем требуется в системе DWDM.

По мере прохождения по оптическому волокну сигнал постепенно затухает. Для того чтобы его усилить, используются оптические усилители. Это позволяет передавать данные на расстояния до 4000 км без перевода оптического сигнала в электрический (для сравнения, в SDH это расстояние не превышает 200 км).

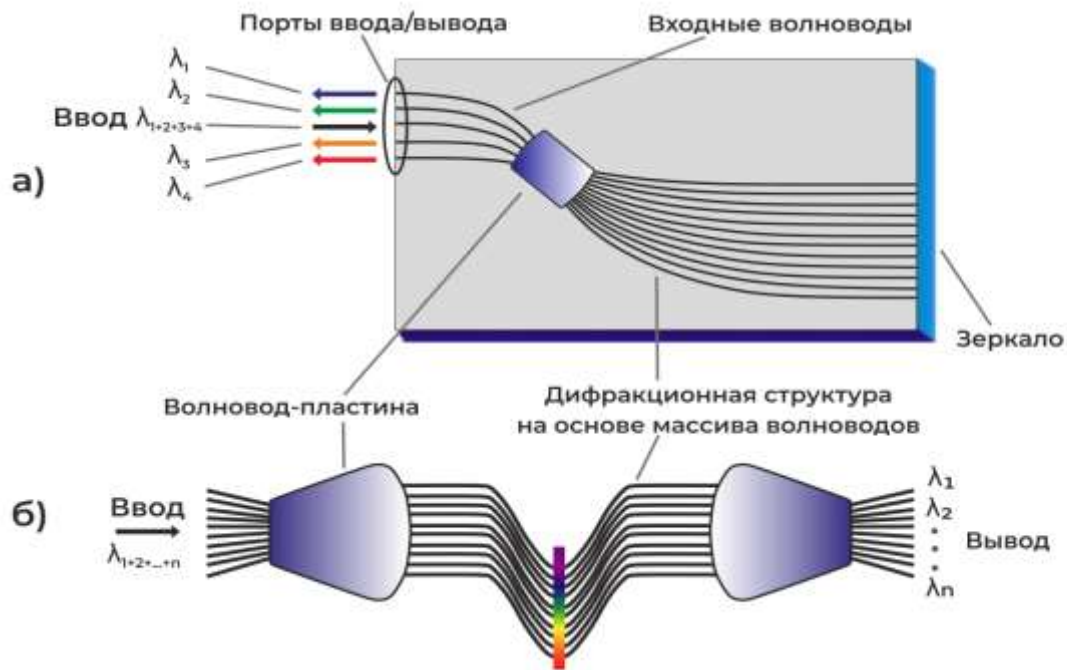


Рис. 23. Схема передачи DWDM сигнала.

Технология DWDM обладает преимуществом, как с точки зрения пропускной способности, так и возможности дальнейшего уможщнения сети:

- DWDM является стабильной платформой для предоставления услуг, а возможность значительного расширения емкости делают сеть удобной для пользователя;
- Технология обеспечивает передачу трафика широкого спектра решений, от систем IP до оборудования SDH и других;
- Существуют большие возможности для масштабирования сети;
- DWDM-технология позволяет сети совмещать гибкость управления относительно низкоскоростными каналами на периферии со скоростной передачей гигабитных потоков в основных магистралях.

Эта технология позволяет получить наиболее масштабный и рентабельный способ расширения полосы пропускания волоконно-оптических каналов в сотни раз. Пропускную способность оптических линий на основе систем DWDM можно наращивать, постепенно добавляя по мере развития сети в уже существующее оборудование новые оптические каналы.

2.5 Характеристики промышленных систем WDM.

В настоящее время еще используются системы WDM первого поколения, мультиплексирующие 2 канала с несущими 1310 нм и 1550 нм. Эти системы, как уже упоминалось, являются опциями, доступными при поставке ряда коммерческих систем

SONET/SDH. Используется сейчас и некоторое количество 4-8-канальных систем. Их можно условно отнести к системам второго поколения. Бурное развитие систем WDM/DWDM началось, когда были разработаны системы третьего поколения, основанные на стандартном канальном плане и имеющие 16 каналов и больше. В настоящее время начался этап их повсеместного внедрения.

Если сравнить список производителей оборудования WDM и SDH, то его можно разделить на две группы: традиционные производители систем PDH/SDH и сопутствующего оборудования (Alcatel, ECI, Ericsson, Lucent, NEC, Nokia, Nortel, Pirelli (приобретена компанией Cisco, Siemens) и остальные (ADVA, Cambrian (приобретена компанией Nortel), Ciena, Eonyx, IBM, Osicom) — новые производители. Первые разрабатывали системы WDM как транспортные средства применительно к WAN, для использования их совместно с системами SDH/SONET, эти компании разрабатывают системы способные работать с плотным частотным планом и разносом между несущими в 50 ГГц, производимое ими оборудование по длине покрываемой дистанции достигает 2000 км; вторые — как транспортные средства для LAN (в лучшем случае, для MAN).

Большинством производителей аппаратуры WDM и DWDM освоены промышленный выпуск и поставка аппаратуры с числом оптических каналов от $N = 16/32$ до $N = 40/80$ и выше, для аппаратуры SDH со скоростью передачи на уровне STM-64 (10 Гбит/с) и STM-16 (2,4 Гбит/с). Поскольку аппаратура систем WDM/DWDM вносит значительные потери в линейный тракт транспортной магистрали (суммарно до 14-18 дБ на обеих сторонах для одного оптического канала), то ее применение без оптических усилителей возможно для относительно коротких линий — порядка нескольких десятков километров.

В настоящее время освоен промышленный выпуск систем DWDM со 160 (Nortel, Lucent, Siemens) и 256 (Alcatel) оптическими каналами и скоростью передачи 10 и 2,4 Гбит/с, что позволяет довести суммарную полосу пропускания в одном ОВ до 1,6 и 0,625 Тбит/с соответственно. Рядом телекоммуникационных компаний ведется активная разработка аппаратуры, дающей возможность превышения барьера 10 Тбит/с в суммарной скорости передачи по одному оптическому волокну.

Настоящий этап развития волоконно-оптических систем связи характеризуется как этап поиска путей повышения эффективности систем передачи. Выполнение данной задачи происходит за счет снижения стоимости строящихся систем в основном регионального, городского масштаба и локальных ВОСП. Учитывая массовость этих дешевых и эффективных ВОСП, можно обеспечить большую загрузку магистральных DWDM-систем.

Чтобы обеспечить взаимную совместимость оборудования различных производителей было предложено стандартизировать номинальный ряд оптических несущих, т.е. создать канальный или частотный план. Эту задачу решил сектор стандартизации Международного союза электросвязи (МСЭ), разработав стандарт ITU — Res. G.692. Первоначально в основу проекта стандарта был положен канальный план с равномерным расположением несущих частот каналов, с их разнесом на 0,1 ТГц (100 ГГц). Выбранному спектральному диапазону длин волн, от 1528,77 нм до 1569,59 нм, соответствует область частот шириной 5,1 ТГц. При выборе постоянного шага равного 100 ГГц, в этом диапазоне можно максимально разместить 51 канал. При этом шаг по длине волны получается разным — от 0,78 нм до 0,821 нм (или в среднем 0,8 нм).

Однако в дальнейшем выяснилось, что целый ряд производителей разработал оборудование, способное формировать и выделять оптические несущие, отстоящие друг от друга на 50 ГГц (0,4 нм). В то же время, для многих приложений не требуется такого плотного заполнения рабочего диапазона и расстояние между каналами можно увеличить до 200 и даже 400 ГГц. Таким образом, окончательная версия стандарта ITU G.692 разрешает расстановку каналов с шагом 50, 100, 200 и 400 ГГц (соответственно 0,4; 0,8; 1,6 и 3,2 нм по длине волны). При шаге в 0,4 нм в диапазоне 1529 — 1565 нм удастся разместить до 102 каналов.

Проблему увеличения числа каналов в одном волокне можно решить, в первую очередь, за счет расширения рабочего диапазона "вправо" до 1612 нм. Это так называемое 4-ое окно прозрачности кварцевого волокна. Правда, при этом потребуются сверхширокополосные оптические усилители с полосой 10,2 ТГц (84 нм). Это могут быть усилители с использованием мощных источников накачки или тулиевые усилители (TDFFA), работающие в диапазоне 1460 нм и 1650 нм.

Alcatel. Компания Alcatel представляет на рынке семейство продуктов OPTINEX для операторов связи. В соответствии с принятой концепцией, на магистральных сетях предпочтение отдается DWDM с поддержкой динамической реконфигурации оптических трактов, а также технологиям SDH. Ряд продуктов DWDM оптимизирован для сетей городского масштаба. Устройства Alcatel 1680 SM предназначен для создания высокоскоростных магистральных сетей, работает исключительно на уровне STM-64 и служит своеобразным шлюзом доступа к оптическому уровню сети. В семейство OPTINEX входят три модели оборудования DWDM. Alcatel 1686 WM — система с поддержкой 16 или 32 оптических каналов. Каждый из них способен работать на скоростях от 100 Мбит/с до 10 Гбит/с. Для высокопроизводительных магистральных сетей подойдет модель Alcatel 1640

WM, обеспечивающая мультиплексирование до 80 оптических каналов. ZTE. Эта китайская компания предлагает на российском рынке целый ряд оборудования DWDM. Устройство ZXWM-32 представляет собой систему уплотнения DWDM и позволяет достигать суммарной скорости передачи до 400 Гбит/с. Lucent Technologies. Компания Lucent Technologies выпускает целую гамму оборудования синхронной передачи и оптического уплотнения, объединенных общим названием WaveStar. Младший модельный ряд SDH состоит из трех моделей мультиплексоров STM-1. Они могут использоваться для создания магистральных сетей и организации доступа. Для решения последней задачи предназначен WaveStar AM-1 Plus. Причем, в зависимости от комплектации, он способен работать и с потоком STM-4. Это небольшое устройство имеет настольную конструкцию, по габаритам и форме весьма схожую с модемами пятилетней давности. В этот мультиплексор можно вставить одну дополнительную плату, расширяющую его возможности по подключению оборудования с различными интерфейсами. Для сетей иерархий STM-1, STM-4, STM-16 предлагается три модели с индексом ADM.

Наиболее мощное устройство в этой группе — интеллектуальный мультиплексор WaveStar ADM 16/1. Он позволяет осуществлять кросс-коммутацию потоков E1 и получать к ним доступ непосредственно на уровне STM-16. Если пропускной способности в 2,5 Гбит/с окажется недостаточно, то можно установить высокопроизводительный мультиплексор WaveStar TDM 10G, работающий на уровне STM-64. Но при этом имеющиеся мультиплексоры более низких уровней придется сохранить, так как самым низкоскоростным трибутарным интерфейсом является STM-1. Оборудование DWDM компании Lucent Technologies включает в себя семейство WaveStar OLS и мультисервисную платформу Metropolis MSX.

Наиболее простая система DWDM — WaveStar OLS 80G с поддержкой до 16 оптических каналов в диапазоне 1550 нм. Данная система в модификации WaveStar OLS 400G расширяется до 80 оптических каналов, а в модификации WaveStar OLS 1.6T — до 160 каналов. Каждый из формируемых каналов может передавать информацию со скоростью 10 Гбит/с (STM-64), что соответствует пропускной способности по одному оптическому волокну 1,6 Тбит/с. Nortel Networks. Оборудование DWDM этой компании — одно из самых популярных в мире.

Среди оборудования DWDM стоит отметить OPTera Long Haul 1600, обеспечивающее высокую пропускную способность, и OPTera Metro 5000, предназначенное для создания скоростных сетей масштаба города. Siemens. Так же, как и у других компаний, в арсенале Siemens целое семейство мультиплексоров, под названием TransXpress. В

области DWDM компания Siemens предлагает, наверное, самый широкий выбор оборудования для магистральных, региональных и городских сетей.

Например, модель MTS2, созданная для магистральных сетей большой емкости и большой пропускной способности, способна передать до 640 каналов по 2,5 Гбит/с на расстояние свыше 1000 км. Для решения менее грандиозных задач можно воспользоваться оборудованием класса WL с поддержкой всего 8 или 16 оптических каналов.

Huawei Technologies. В последнее время компания Huawei стала проявлять заметную активность на российском рынке. Она работает во многих областях телекоммуникаций, включая создание оборудования для магистральных сетей. Для этого направления разработано семейство OptiX, куда входят мультиплексоры SDH уровней STM-1/4/16/64, оборудование DWDM на 16/32 канала и мультисервисная транспортная платформа MSTP. Последняя объединяет преимущества SDH и DWDM. В настоящее время создано всего три продукта, где реализовано MSTP. Все они предназначены для построения сетей городского масштаба и позволяют интегрировать трафик SDH, ATM и IP.

ECI Telecom. в январе 2001 г. подразделение, занимающееся соответствующим оборудованием, было преобразовано в компанию Lightscape Networks, входящую в группу компаний ECI Telecom. Этот производитель достаточно широко известен на российском рынке, где предлагает ряд мультиплексоров SDH, работающих на уровнях STM-1/4/16, а кроме того, одноплатный мультиплексор mic-roSDM-1 уровня STM-1. Серия универсальных мультиплексоров XDM, в котором на одной платформе интегрированы функции мультиплексирования DWDM, кросс-коммутации, маршрутизатора IP, коммутатора ATM и мультиплексоров SDH. В настоящее время потребителям предлагаются три модели. Младшая, XDM 500, является шлюзом доступа из цифровых сетей в сети DWDM. XDM 1000 представляет собой мультисервисный коммутатор оптической городской сети. Старшая модель, XDM 2000, позиционируется компанией как многофункциональный интеллектуальный коммутатор. Все устройства способны манипулировать потоками от E1 до STM-64.

Корпорация ZTE (0763.HK / 000063.SZ), крупный международный поставщик телекоммуникационных систем, а также решений в сфере мобильного интернета на корпоративном и потребительском рынках, поставила современные решения для трансконтинентальной телекоммуникационной магистрали, осуществив организацию каналов 100G на дальнемагистральной когерентной сети оператора с использованием оборудования DWDM серии ZXONE 8000. Вновь организованные каналы имеют возможность переключения на резервные маршруты на основе технологии ODUk SNCP и

Характеристики**продукта.**

- Электрическая кросс-коммутация ODUk большой емкости

ZXONE 8000 поддерживает электрическую кросс-коммутацию большой емкости для 0.8T/1.4T/2.8T/3.2T/9.4T и позволяет организовать неблокируемое электрическое кросс-подключение мульти гранулярных услуг, включая ODU0/1/2/2e/3/4/flex; устройство может быть установлено на узлах агрегации / ядра сети.

- Функция OTDR

Простой поиск длины волокна, затухания, точек преломления, положения соединения оптического волокна. Поддержка запросов в режиме реального времени и системы обнаружения. Сделайте ежедневное обслуживание и поиск неисправностей легче.

- Гибридное кросс-подключение и интеллектуальная диспетчеризация

Оптический уровень поддерживает 2-20-degree ROADM, N*M WSS. Он может осуществлять автоматическую конфигурацию E2E длин волн. Поддержка управления WASON в оптическом и электрическом уровне.

- Превосходные возможности 100G транспорта

100GB система использует PM-QPSK модуляцию для поддержки SD-FEC технологии с хорошей переносимостью OSNR. Самые передовые технологии обработки DSP в отрасли поддерживают 60PS PMD и $\pm 70000\text{ps/nm}$ хроматических дисперсных отклонений.

Расстояние передачи может достигать более 5000 километров без электрического реле, что позволяет экономить на инвестициях и облегчает техническое обслуживание. ZXONE 8000 поддерживает сети 100G beyond с длиной волны 400G, что обеспечивает большую несущую способность.

- PIC (фотонная интегральная схема)

Одноместный подстатив поддерживает функции доступа к услугам, кросс-соединение, MUX/DEMUX, оптическое усиление, обработка и передача данных синхронизации. Низкое энергопотребление и сокращение издержек обеспечивается посредством PIC технологии.

- Синхронизация

Поддержка out-band / in-band 1588V2 передачу и синхронной передачи Ethernet.

- Высокая степень интеграции, экологичность и энергосбережение

100G плата поддерживает когерентный модуль CFP, значительно снижая энергопотребление системы.

Используются 28nm чипы ASIC, интегрированные с большим количеством функций, что значительно снижает общее тепловыделение PCB и потребление энергии.

- Высокая надежность архитектуры системы

Резервирование 1+1 для основного блока управления, блока питания и синхронизации. Кросс-подключение модуля использует передовую защиту, которая более, чем на три порядка выше общей защиты 1+1. Это значительно повышает надежность оборудования.

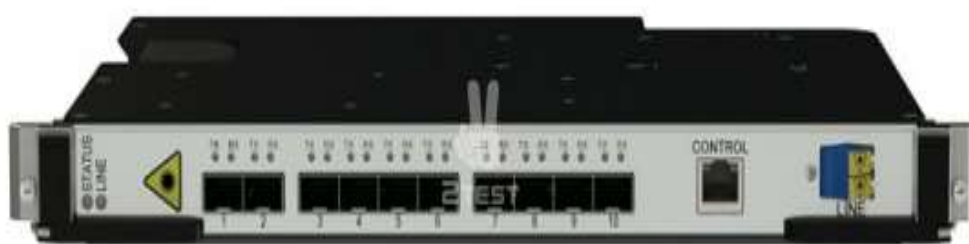


Рис. 25. Агрегирующий транспондер

Возможности:

- Передача 10-ти клиентских сигналов;
- 10GE, STM-64, OTU2, Fiber Channel;
- Линейный интерфейс OTU4, 120 Гбит/с;
- Когерентный формат модуляции DP-QPSK;
- Перестраиваемый в C-диапазоне лазер;
- До 96 каналов с шагом 50 ГГц;
- Коррекция ошибок SoftFEC;
- Автоматическая коррекция дисперсии до 70 000 пс/нм;
- $OSNR \geq 12,5$ дБ (0,1 нм, $BER \leq 10^{-12}$);

Функциональность:

• Агрегирующий транспондер (мультиплексор) MS-100E-T10 объединяет 10 клиентских сигналов 10 Гбит/с и передает их в одном 100G DWDM-канале. Изменять тип клиентского протокола можно в любом из 10 каналов без остановки линейного трафика.

• Мультиплексор выполняет 3R-регенерацию, преобразует данные в формат OTN OTU4 и использует мощный алгоритм коррекции ошибок SoftFEC. Передача данных

осуществляется на стабилизированной длине волны в соответствии с частотной сеткой DWDM.



Рис. 26. Мультиплексор

Управляемые оптические мультиплексоры ввода-вывода предназначены для объединения отдельных DWDM каналов в один спектрально-уплотненный оптический сигнал и выделение из него каналов в соответствии с рекомендациями МСЭ (ITU-T) G.692, G.694.1 и РД 45.286-2002, регулировку уровня мощности каждого канала встроенным аттенуатором. Изделия применяются в составе оборудования волоконно-оптической системы передачи со спектральным уплотнением «ZXONE 8000» в условиях: – температуры окружающего воздуха от плюс 5 до плюс 40 °С; – относительной влажности воздуха до 80% (при температуре плюс 25 °С); – атмосферного давления не ниже 60 кПа (450 мм рт.ст.). Электропитание осуществляется через внутреннюю шину шасси. Допускается замена блоков оборудования в работающем шасси (Hot Swap). Для включения изделия в состав оборудования используются сдвоенные адаптеры LC/APC, FC/APC.



Рис. 27. EDFA усилитель.

Волоконно-оптические эрбиевые усилители предназначены для усиления оптической мощности многоканального оптического сигнала.

Усиление оптического сигнала происходит без оптоэлектронного преобразования. Блоки усилителей имеют от одного до трех каскадов усиления. Предусмотрена возможность межкаскадного доступа для подключения компенсаторов дисперсии. Использование фильтров GFF обеспечивает равномерный спектр усиления в С-диапазоне. Использование встроенного управляемого аттенюатора позволяет регулировать коэффициент усиления.

Глава 3. РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ НАГРУЗКИ, ЗАТУХАНИЯ, ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ И OSNR.

3.1 Расчет нагрузки и требуемой мощности.

Что бы рассчитать необходимое число каналов, необходимо знать число абонентов каждого просчитываемого района, через который будет проходить трасса проектируемой ВОЛС. Число абонентов примем 38% от общего числа абонентов населения. Общедоступная статистика показывает, что средняя нагрузка по исходящим линиям одного абонента составляет – 0,11 Эрл, а средняя нагрузка по входящим линиям одного абонента составляет – 0,29 Эрл. Общий трафик абонентов переводим из Эрлангов в Мбит/с и, находим общий трафик от абонентов с разными тарифными планами. Результаты расчётов представлены в таблицах 2 - 5.

Нагрузка в Эрлангах = Количество абонентов* 0,4;

Требуемая скорость = Нагрузка в Эрлангах* Скорость;

Общая скорость передачи = $\sum$ Требуемой скорости;

Количество абонентов Интернет примем 30 % от числа телефонных абонентов.

Таблица 2. Расчет нагрузки г. Кара-Балта.

Население села и прилегающего района - 125 496 человек.				
Численность абонентов – 47 688 человек.				
Количество абонентов, пользующихся активно интернетом – 14 307 человек.				
Скорость Мбит\сек	Количество абонентов	Нагрузка в Эрлангах	Требуемая скорость в Мбит\сек	Общая скорость передачи в Мбит\сек
2	2146	858,4	1 716,8	64 894,5
4	1431	572,3	2 289,0	
8	2432	972,8	7 782,8	
10	4006	1 602,7	16 023,3	
20	2575	1 030,1	20 601,4	
24	1717	686,7	16 481,1	

Таблица 3. Расчет нагрузки г. Каинда.

Население села и прилегающего района – 20 305 человек.				
Численность абонентов – 7 716 человек.				
Количество абонентов, пользующихся активно интернетом – 2 315 человек.				
Скорость Мбит\сек	Количество абонентов	Нагрузка в Эрлангах	Требуемая скорость в Мбит\сек	Общая скорость передачи в Мбит\сек
2	347	138,9	277,8	10 499,8
4	231	92,6	370,4	
8	394	157,4	1 259,2	
10	648	259,3	2 592,5	
20	417	166,7	3 333,3	
24	278	111,1	2 666,6	

Таблица 4. Расчет нагрузки с. Беловодское.

Население села и прилегающего района – 23 767 человек.				
Численность абонентов – 9 031 человек.				
Количество абонентов, пользующихся активно интернетом – 2 709 человек.				
Скорость Мбит\сек	Количество абонентов	Нагрузка в Эрлангах	Требуемая скорость в Мбит\сек	Общая скорость передачи в Мбит\сек
2	406	162,6	325,1	12 290,0
4	271	108,4	433,5	
8	461	184,2	1 473,9	
10	759	303,5	3 034,6	
20	488	195,1	3 901,6	
24	325	130,1	3 121,3	

Таблица 5. Расчет нагрузки с. Сокулук.

Население села и прилегающего района – 82 594 человек.				
Численность абонентов – 31 386 человек.				

Количество абонентов, пользующихся активно интернетом – 9 416 человек.				
Скорость Мбит\сек	Количество абонентов	Нагрузка в Эрлангах	Требуемая скорость в Мбит\сек	Общая скорость передачи в Мбит\сек
2	1412	564,9	1 129,9	42 709,7
4	942	376,6	1 506,5	
8	1601	640,3	5 122,1	
10	2636	1 054,6	10 545,6	
20	1695	677,9	13 558,6	
24	1130	452,0	10 846,9	

Вывод: общее число потоков 10GE для проектируемой системы передачи составит:

$$N = (5 + 3 + 3 + 3) + 7 \text{ транзитных} = 21 \times 10GE \quad (1)$$

3.2 Разработка схемы связи, управления и синхронизации.

Оптический тракт (ОТ) - комплекс технических средств, обеспечивающий передачу оптических сигналов со скоростью передачи, соответствующей данной ВОЛС - WDM, между интерфейсами MPI-S и MPI-R.

Возможны следующие топологии оптических трактов в ВОЛС- WDM:

- «точка – точка» без выделения каналов;
- «точка – точка» с выделением каналов;
- «кольцо».

Часто для характеристики ОТ используются следующие термины: Пролет (span) - участок оптического тракта либо между передатчиком (TX) и линейным усилителем (LOA), либо между соседними LOA, либо между LOA и приемником (RX).

Секция - участок ОТ либо между передатчиком и линейным регенератором (РЛ), либо соседними РЛ. Дистанция - максимальное расстояние, на которое может быть организована данная ВОЛС - WDM.

Дистанция может включать в себя несколько секций, либо один или несколько пролетов. В принципе, оптический тракт может и не содержать усилителей, и тогда его параметры определяются параметрами оптического кабеля.

Усилители мощности (бустеры) устанавливаются непосредственно после лазерных передатчиков и предназначены для дополнительного усиления сигнала до уровня, который не может быть достигнут на основе лазерного диода.

Линейные усилители (LOA) устанавливаются в промежуточных точках протяженных линий связи между регенераторами или на выходе оптических разветвителей с целью компенсации ослабления сигнала, которое происходит из-за затухания в оптическом волокне или из-за разветвления в оптических разветвителях, ответвителях, мультиплексорах WDM.

Предусилители (POA) устанавливаются непосредственно перед приемником регенератора и способствуют увеличению отношения сигнал/шум на выходе электронного каскада усиления в оптоэлектронном приемнике.

Сигнал в интерфейсе MPI-S является суммой оптических цифровых сигналов. В результате суммирования этих сигналов образуется сигнал, который, распространяясь по оптическому тракту, претерпевает искажения.

При размещении пролетов и секций необходимо компенсировать потери в каждом пролете. То есть так, чтобы затухание пролета компенсировалось бы соответствующим усилением LOA.

Линейные усилители подбираем в зависимости от затухания в пролете, которое определяется по формуле:

$$\alpha_{\text{пр}} = l_{\text{пр}} * \alpha_s \quad (2)$$

где $\alpha_{\text{пр}}$ – длина пролета,

На строящемся участке используются волокна G.652.

α_s – километлическое затухание ОВ в кабеле, 0,275 дБ/км

На схеме показаны длины пролетов и секции участка строительства:

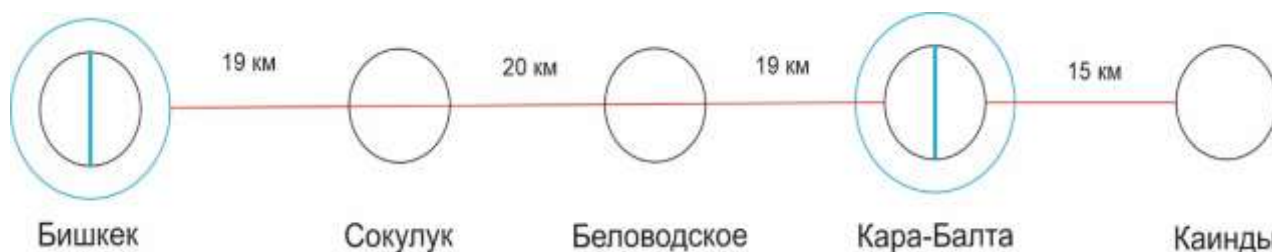


Рис. 28 Длина пролетов и секции участков строительства.

Затухание в пролетах:

Бишкек – Сокулук – $\alpha = 4.95\text{дБ}$

Сокулук – Беловодское – $\alpha = 5,5\text{дБ}$

Беловодское – Кара-Балта – $\alpha = 4.95\text{дБ}$

Кара-Балта – Каинды – $\alpha = 4.125\text{дБ}$

Рассчитав удаленность всех населенных пунктов, было решено использовать волоконно-оптические эрбиевые усилители ЕА в составе оборудования волоконно-оптической системы передачи со спектральным уплотнением «ZXONE 8000(ZTE)». В узле связи «Сокулук» применяется усилитель ЕА-5, со значением усиления 5 дБ; в УС «Беловодское» и УС «Кара-Калта» также применяется – ЕА-5, со значением усиления 5 дБ.

3.3 Расчет дисперсии в канале.

Под дисперсией в оптике понимают зависимость фазовой скорости световых волн v_{ϕ} от частоты. Это же относится и к показателю преломления $n_2 - n_1 = n(w)$.

Понятие "дисперсия" в световоде уже не единственно и приходится различать три ее вида:

-модовая дисперсия - дисперсия, существующая только в многомодовом волокне и вызванная различной скоростью распространения в световоде лучей разных мод, достигающих определенного сечения ОВ (выхода) в разное время, что приводит к уширению входного импульса на выходе;

-материальная дисперсия - дисперсия собственно материала световода, существующая независимо от типа волокна (ММ или ОМ) и отличающаяся от хроматической дисперсии только тем, что она соответствует волноводной (а не объемной) среде;

-волноводная дисперсия - дисперсия, существующая в так называемой волноводной среде, сформированной по меньшей мере двумя физическими средами (в нашем случае сердцевиной и оболочкой).

Используем формулу для стандартного оптического волокна SMF

$$\tau_{уд} = 18 * \frac{\text{пс}}{\text{нм*км}} \quad (3)$$

Рассчитываем накапливаемую дисперсию формуле:

$$\tau = \tau_{уд} * L \quad (4)$$

Таблица 6. Таблица дисперсии для всех участков.

Участки сети	Величина дисперсии $\frac{пс}{нм}$	Тип компенсатора дисперсии	Затухание дБ
Бишкек - Сокулук	307,2	DCU-330 на 20 км	2,1
Сокулук - Беловодское	307,8	DCU-330 на 20 км	2,3
Беловодское – Кара-Балта	307,2	DCU-330 на 20 км	2,1
Кара-Балта - Каинды	305,1	DCU-330 на 20 км	1,7
Бишкек- Каинды	Итого: 1227,3		

Компенсаторы дисперсии используют для компенсации хроматической дисперсии, набранной в элементах волоконно-оптической линии связи. Принцип действия основан на свойствах оптических волокон с отрицательным коэффициентом дисперсии, вход и выход которых выведены на переднюю панель. Компенсаторы дисперсии тоже вносят затухание.

Произведем расчет затухания:

$$\alpha_{пр.1} = 4,95 + 2,1 = 7,05$$

$$\alpha_{пр.2} = 5,5 + 2,3 = 7,8$$

$$\alpha_{пр.3} = 4,95 + 2,1 = 7,05$$

$$\alpha_{пр.4} = 4,125 + 1,7 = 5,825$$

3.4 Расчет OSNR и мощностей сигнала.

Оптическое отношение сигнал/помеха (OSNR) вычисляется в интерфейсе MPI-R для одного канала N-канальной ВОСП – WDM.



Для расчета OSNR сначала вычислим среднюю мощность сигнала и помехи в интерфейсе MPI-S. Средняя мощность канального сигнала на выходе бустера (в интерфейсе MPI-S) будет равна:

$$P_{ch\ mpi-s} = P_{max\ mpi-s} - 10 \lg M - \Delta p \quad (5)$$

где, $P_{max\ mpi-s}$ – уровень максимальной средней мощности группового сигнала в интерфейсе MPI-S, лимитируемый лазерной безопасностью и допустимой нелинейностью ВО;

M – число каналов;

Δp – эксплуатационный запас, обеспечивающий необходимое значение OSNR в интерфейсе MPI–R к концу срока эксплуатации.

В нашем случае:

$$P_{ch\ MPI-S} = 20 \text{ дБм}; M = 21; \Delta p = 2 \text{ дБм}.$$

$$P_{ch\ MPI-S} = P_{max\ MPI-S} - 10\lg M - \Delta p = 20 - 10\lg(16) - 2 = 4,778 \text{ дБм};$$

Расчетная мощность сигнала на входе канала линейного усилителя LOA1 будет равна:

$$P_{ch\ R1} = P_{ch\ MPI-S} - \alpha_{пр.1} \quad (6)$$

где $\alpha_{пр.1} = 7,05$ дБ – затухание пролета, рассчитанное выше.

$$P_{ch\ R1} = P_{ch\ MPI-S} - \alpha_{пр.1} = 4,778 - 7,05 = -2,272 \text{ дБм};$$

Мощность сигнала в канале на выходе линейного усилителя LOA 1, имеющего усиление $g_{LOA1} = 5$ дБ, будет равна:

$$P_{ch\ S1} = P_{ch\ R1} + g_{LOA1} = -2,272 + 5 = 2,728;$$

Мощность канального сигнала на входе линейного усилителя LOA2:

$$P_{ch\ R2} = P_{ch\ S1} - \alpha_{пр.2} = 2,728 - 7,8 = -5,072;$$

Мощность сигнала в канале на выходе линейного усилителя LOA 2, с усилением $g_{LOA2} = 5$ дБ, равна:

$$P_{ch\ S2} = P_{ch\ R2} + g_{LOA2} = -5,072 + 5 = -0,072;$$

Мощность канального сигнала на входе линейного усилителя LOA3:

$$P_{ch\ R3} = P_{ch\ S2} - \alpha_{пр.3} = -0,072 - 7,05 = -7,122;$$

Мощность канального сигнала на выходе линейного усилителя LOA 3, имеющего усиление $g_{LOA3} = 5$ дБ, будет равна:

$$P_{ch\ S3} = P_{ch\ R3} + g_{LOA2} = -7,122 + 5 = -2,122;$$

Мощность сигнала в канале на входе предварительного усилителя OBU104 будет равна:

$$P_{ch\ MPI-R} = P_{ch\ S3} - \alpha_{пр.4} = -2,122 - 2,825 = -4,947;$$

Произведем расчёт мощностей помех в точках стыка оптического тракта и на выходе последнего усилителя.

Главным источником помех в проектируемом тракте ВОЛС, является оптический усилитель EDFA, характеризующийся помехой на его выходе за счёт, в основном, усиленного спонтанного излучения (ASE).

Рассчитываем мощность помехи, вносимой усилителем по формуле:

$$P_{ASE} = 2 \times h \times f \times \frac{n_{sp}}{\eta_{кв}} \times (G - 1) \times \Delta f \quad (7)$$

где h – постоянная Планка, $h=6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с;

f – частота канала, $f=193,1 \cdot 10^{12}$ Гц;

n_{sp} – коэффициент спонтанного излучения, $n_{sp}=1$;

$\eta_{кв}$ – внешняя квантовая эффективность, $\eta_{кв}=1$;

G – коэффициент усиления, $g=20$ дБ, $G_{boos}=100$ раз;

Δf – ширина спектра канала на уровне 0,5 мощности излучения.

$$P_{ASE\ boos} = 2 \cdot 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 193.1 \cdot 10^{12} \cdot \frac{1}{1} \cdot (100 - 1) \cdot 12.5 \cdot 10^9 = 3,2 \cdot 10^{-7}$$

Преобразуем значение в дБ:

$$P_{ASE\ boos} = P_{ASE\ MPI-S} = P_{ASE\ bust} = 0,32 \text{ мкВт} \rightarrow -34,95 \text{ дБм};$$

Мощность помех на входе линейного усилителя LOA1 рассчитаем по формуле:

$$P_{ASE\ R1} = P_{ASE\ MPI-S} - \alpha_{пр.1} = -34,95 - 7,05 = -42 \text{ дБм};$$

$$P_{ASE\ R1} = 100.1 \cdot P_{ASE\ R1} = 100.1 \cdot (-42) = 3,251 \cdot 10^{-5} \text{ мВт};$$

Рассчитаем мощность помех на выходе усилителя LOA1, с учетом того, что мощность помех накапливается в каждом последующем усилителе:

$$P_{ASE\ LOA2} = 2 \cdot 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 193.1 \cdot 10^{12} \cdot \frac{1}{1} \cdot (10 - 1) \cdot 12.5 \cdot 10^9 = 0,29 \cdot 10^{-7};$$

$$P_{ASE\ LOA1} = P_{ASE\ LOA2} = -45,4 \text{ дБм};$$

$$\begin{aligned} P_{ASE\ S1} &= P_{ASE\ R1} \cdot G1 + P_{ASE1} = 3,251 \cdot 10^{-5} \cdot 10 + 0,29 \cdot 10^{-7} \\ &= 6,151 \cdot 10^{-4} \text{ мВт}; \end{aligned}$$

$$p_{ASE\ S1} = 10 \lg \frac{P_{ASE\ S1}}{1 \text{ мВт}} = 10 \lg(3,254 \cdot 10^{-4}) = -41,222 \text{ дБм};$$

Мощность помех на входе усилителя LOA2:

$$P_{ASE\ R2} = P_{ASE\ S1} - \alpha_{пр.2} = -41,222 - 7,8 = -49,022 \text{ дБм};$$

$$P_{ASE\ R2} = 100.1 \cdot (-49,022) = 7,144 \cdot 10^{-6} \text{ мВт};$$

Мощность помех на выходе линейного усилителя LOA2:

$$PASE\ S2 = PASE\ R2 \cdot G + PASE\ LOA\ 2 = 7,144 \cdot 10^{-6} \cdot 10 + 0,29 \cdot 10^{-7} \\ = 1,004 \cdot 10^{-4} \text{ мВт};$$

$$pASE\ S2 = 10lg \frac{PASE\ S2}{1 \text{ мВт}} = 10lg(3,782 \cdot 10^{-5}) = -39,941 \text{ дБм};$$

Мощность помех на входе усилителя LOA3:

$$PASE\ R3 = pASE\ S2 - \alpha_{пр.3} = -39,941 - 7,05 = -46,991;$$

$$PASE\ R3 = 100.1 \cdot (-46,991) = 6,745 \cdot 10^{-6} \text{ мВт};$$

Рассчитаем мощность помех на выходе линейного усилителя LOA3:

$$PASE\ S3 = PASE\ R3 \cdot G + PASE\ LOA2 = 6,745 \cdot 10^{-6} \cdot 10 + 0,29 \cdot 10^{-7} \\ = 2,842 \cdot 10^{-4};$$

$$pASE\ S3 = 10lg \frac{PASE\ S3}{1 \text{ мВт}} = 10lg(2,842 \cdot 10^{-4}) = -27,563 \text{ дБм};$$

Далее рассчитаем мощность помех на входе предварительного усилителя:

$$pASE\ MPI - R' = pASE\ S3 - \alpha_{пр.4} = -27,563 - 5,825 = -33,388 \text{ дБм};$$

$$PASE\ MPI - R' = 100.1 pASE\ MPI - R' = 100.1 \cdot (-36,088) = 2,004 \cdot 10^{-5} \text{ мВт};$$

При учете помех из-за нулевых флуктуаций вакуума, мощность помех в интерфейсе MPI-R будет равна:

$$PASE\ MPI - R = PASE\ MPI - R' + P_{нфв} \quad (3.4.4)$$

$$P_{нфв} = h \cdot f \cdot \Delta \cdot fch = 6,626 \cdot 10^{-34} \cdot 193,1 \cdot 10^{12} \cdot 12,5 \cdot 10^9 \\ = 1,6 \cdot 10^{-6} \text{ мВт};$$

Тогда получим:

$$PASE\ MPI - R = PASE\ MPI - R' + P_{нфв} = 7,546 \cdot 10^{-6} + 1,6 \cdot 10^{-6} \\ = 2,164 \cdot 10^{-6} \text{ мВт};$$

Переведем значение в дБм:

$$pASE\ MPI - R = 10lg \frac{PASE\ MPI - R}{1 \text{ мВт}} = 10lg(9,146 \cdot 10^{-6}) = -29,647 \text{ дБм};$$

Произведем расчет OSNR в контрольных точках.

Отношение сигнала шума на входе и на выходе всех усилителей, рассчитаем по формуле:

$$OSNR = pch - pASE \quad (8)$$

$$OSNRMPI-S = p_{ch} MPI-S - p_{ASE} MPI-S = 4,778 - (-34,95) = 39,728 \text{ дБм};$$

$$OSNRR1 = p_{ch} R1 - p_{ASE} R1 = -2,272 - (-42) = 39,728 \text{ дБм};$$

$$OSNRS1 = p_{ch} S1 - p_{ASE} S1 = 2,728 - (-41,222) = 38,494 \text{ дБм};$$

$$OSNRR2 = p_{ch} R2 - p_{ASE} R2 = -5,072 - (-49,022) = 43,95 \text{ дБм};$$

$$OSNRS2 = p_{ch} S2 - p_{ASE} S2 = -0,072 - (-39,941) = 39,869 \text{ дБм};$$

$$OSNRR1 = p_{ch} R3 - p_{ASE} R3 = -7,122 - (-46,911) = 39,789 \text{ дБм};$$

$$OSNRS1 = p_{ch} S3 - p_{ASE} S3 = -2,122 - (-27,563) = 25,441 \text{ дБм};$$

$$OSNRMPI-R = p_{ch} MPI-R - p_{ASE} MPI-R = -4,947 - (-29,647) = 24,7 \text{ дБм};$$

Для наглядного понимания шумов на входе и выходе сведем полученные результаты в таблицу.

Таблица 7. Результаты мощности сигнала, мощности шумов и OSNR

	p_{ch} , дБм	p_{ASE} , дБм	OSNR, дБ
MPI-S	4,778	-34,95	39,728
R ₁	-2,272	-42	39,728
S ₁	2,728	-41,222	38,494
R ₂	-5,072	-49,022	43,95
S ₂	-0,072	-39,941	39,869
R ₃	-7,122	-46,911	39,789
S ₃	-2,122	-27,563	25,441
MPI-R	-4,947	-29,647	24,7

Мощности сигнала, мощности шумов и OSNR при максимальной загрузке системы сведем в таблицу:

Таблица 8. Результаты максимальной мощности сигнала, мощности шумов и OSNR

	p_{ch} , дБм	p_{ASE} , дБм	OSNR, дБ
MPI-S	1,979	-34,95	36,929
R ₁	-5,071	-42	36,929
S ₁	-5,077	-41,222	36,145

R ₂	-7,871	-49,022	41,151
S ₂	-2,871	-39,941	37,07
R ₃	-9,921	-46,911	36,99
S ₃	-4,921	-27,563	22,642
MPI-R	-7,746	-29,647	21,901

По вышеприведенным расчетам видно, что все расчеты сделаны верно, так как значение OSNR в точке MPI-R равно 21,9 дБ, что удовлетворяет нормативу $OSNR \geq 20$ дБ.

Представим диаграмму уровней по произведенным выше расчетам:

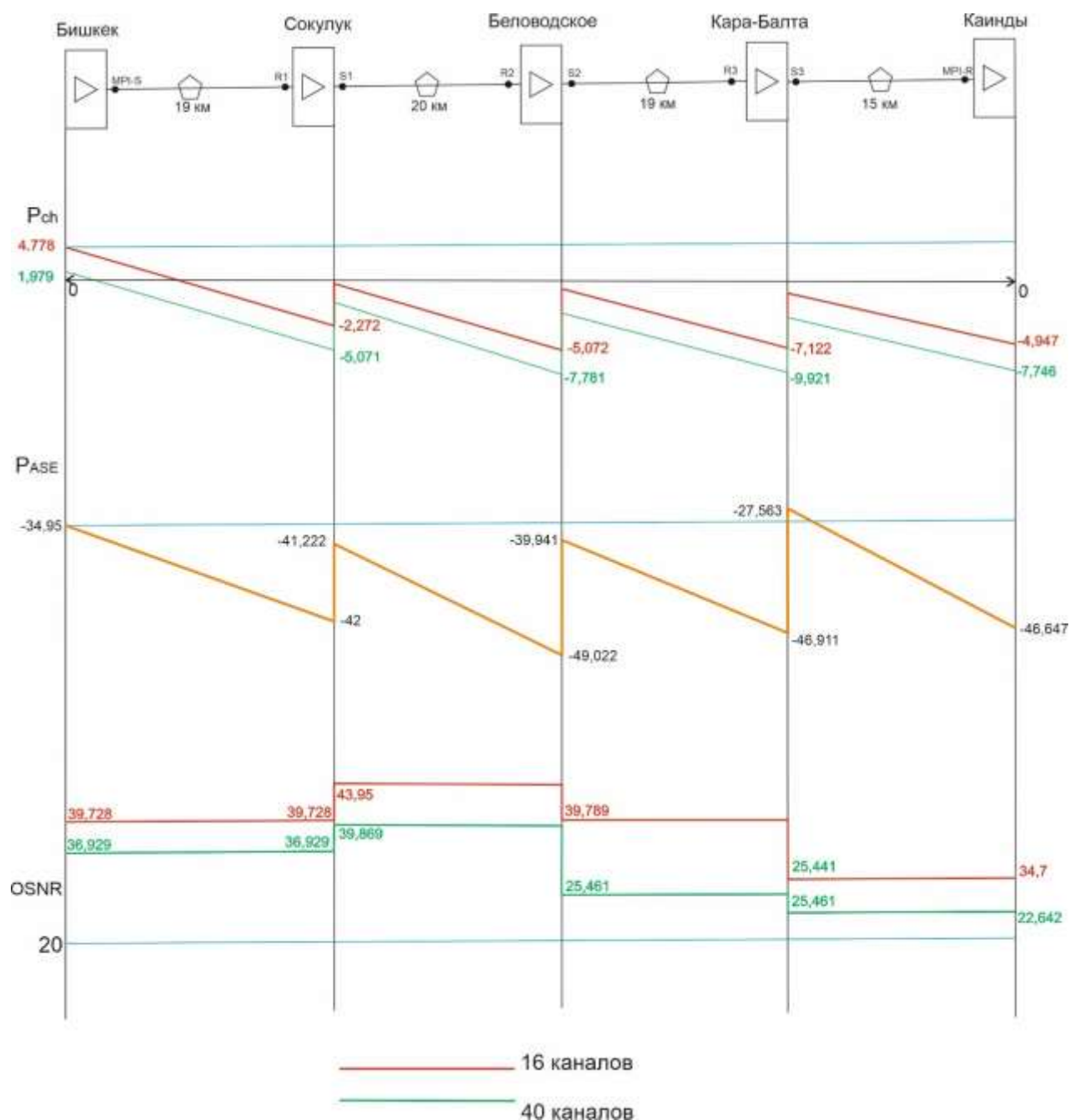


Рис. 29. Диаграмма расчетов.

3.5 Организация схемы связи.

Для полноценного функционирования сети используем платформу спектрального уплотнения ZXONE 8000 «ZTE».

В качестве передатчика среды оптического сигнала будем использовать кабель ЭКБ-ДПУ-П-24-Е.

После подсчета всех нагрузок в системе передачи будем использовать 21 канал связи по 10 GE каждый.

Распределение всех спектральных каналов представим в таблице 9.

Таблица 9. Распределение спектральных каналов.

Направление	Тип входного сигнала	Количество входных сигналов	№ канала	Опорная частота, ТГц	Длина волны, Нм.
Бишкек - Сокулук	10 GE	3	20	194.6	1542
			21	194.5	1543
			22	194.3	1544
Сокулук – Беловодское (транзит через Сокулук)	10 GE	3	23	194.2	1545
			24	194.1	1546
			25	193.9	1547
Беловодское – Кара-Балта (транзит через Сокулук - Беловодское)	10 GE	5	26	193,8	1548
			27	193,7	1549
			28	193,6	1550
			29	193,4	1551
			30	193,3	1552
Кара-Балта – Каинды (транзит через Кара-Балта - Беловодское)	10 GE	3	12	193,2	1534
			13	193,1	1535
			14	192,9	1536
Транзит λ -каналов на запад (Казахстан, Чалдовар)	10 GE	7	5 - 11	192,8 - 192	1533 - 1527

Схема распределения спектральных каналов более полно отражена в Приложении 2.

3.6 Электропитание оборудования.

Необходимо рассчитать электропотребление оборудования на проектируемом участке сети.

Для этого составим таблицу всего оборудования и его электропотребления.

Таблица 10. Оборудование и потребляемая мощность.

Марка и название модулей	Потребляемая мощность (макс.) Вт	Количество шт.
ZXONE 8000 «ZTE».	165	1
Блок управления	113	5
ZXSM-2500	150	4
EA-10	35	5
ROADM-4T/1T(1T/40C)	15	5
DCU-825	20	5

Высчитаем общую сумму мощности:

Блок управления – $113 \cdot 5 = 565$ Вт.

ZXSM-2500 – $150 \cdot 4 = 600$ Вт.

EA-10 – $35 \cdot 5 = 175$ Вт.

ROADM-4T/1T(1T/40C) – $15 \cdot 5 = 75$ Вт.

DCU-825 – $20 \cdot 5 = 100$ Вт.

Итого: 1680 Вт.

Все оборудование на узлах связи подключается к бесперебойному питанию и к источникам питания первой категории.

В качестве независимого питания принимается существующая линия 3х фазового питания, предоставляемая местным отделением РЭС.

Источники питания проектируемой транспортной сети DWDM:

- - 1 независимый источник электропитания;
- - аккумуляторные батареи (обеспечивают бесперебойную работу более 5 часов);

- - автоматическая ДГУ (начинает работу после потери основного питания через 20 сек.).

Электропитание системы ZXONE 8000 «ZTE» осуществить от существующего источника питания в составе четырёх выпрямительных блоков по 30 А. Резервное питание произвести от группы аккумуляторных батарей.

Ток всего подключаемого оборудования – 10,37 А. ($I_{уст}$)

Максимальный ток нагрузки – 37 А.

Ток заряда АКБ (10 часов) – 42А.

Максимальный ток электропитающей установки (ЭПУ) – 120 А.

Суммарный ток составит:

$$I_{сум} = I_{сущ} + I_{уст} + I_{з. бат} = 37 + 10,37 + 42 = 89,37 \quad (9)$$

Из произведенного расчета видно, что ток суммарной нагрузки не превышает установленных норм суммы ЭПУ ($I_{эпу} = 120$ А.), значит увеличение мощности электропитающей установки не требуется.

Емкость группы батарей 420 Ач. ($E_{акб}$)

По формуле подсчета автономной работы:

$$Траб. = (E_{акб} / (I_{сущ.} + I_{в. уст.})) \quad (10)$$

Получим время работы в автономном режиме:

$$(420 / (37 + 10,37)) = 8,9 \text{ часов.}$$

Из выше представленных расчетов видно, что время автономной работы оборудования составим около 9 часов, что соответствует нормам построения телефонной сети. Соответственно увеличение емкости аккумуляторных батарей не требуется.

3.7 Управление сетью DWDM.

Контроль, управление, настройка и другие действия над коммутируемыми соединениями в сети управления оборудованием DWDM выполняют сменные блоки CM-S-2G-6. Управление системой можно производить удаленно, при помощи программы управления от компании ZTE «NetNumen». Вся управляющая информация на специальной выделенной длине волны.



Рис. 30. Модуль управления CM-S-2G-6.

Блок управления + Ethernet Switch - CM-S-2G-6

- 2 порта SFP GE для оптических служебных каналов
- 6 портов 10/100Base-T
- Поддержка RSTP
- Управление конфигурацией шасси

Служебные Ethernet-коммутаторы служат для построения сети служебной связи. 2 порта SFP используются для организации выделенных служебных каналов на скорости GE. 6 или 8 «медных» портов 10/100Base-T служат для организации голосовой VoIP связи, работы локальных терминалов, объединения нескольких платформ. Коммутаторы поддерживают стандарт RSTP для разрешения конфликтов сети в кольцевых и сложных структурах.

Таблица 11. Основные характеристики CM-S-2G-6.

Параметр	CM-S-2G-6
Число портов SFP GE	2
Число портов 10/100Base-T	6
Коммутационная матрица	Неблокируемая коммутация
Таблица MAC-адресов	8000 записей
Скорость передачи	10 Мбит/с – 1 Гбит/с
Буфер данных	1 МБ
Поддерживаемые протоколы	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.3z, ANSI/IEEE 802.3, IEEE 802.1d-2004
Поддержка управления	Поддержка протокола SNMP

Сетевая система управления NMS «NetNumen» (далее – СУ) предназначена для управления работой и мониторинга цифровых транспортных систем DWDM, CWDM, OTN. Система «NetNumen» позволяет работать со всем спектром оборудования «ZTE» (DWDM-система «ZXONE 8000»), а также с оборудованием других вендоров. NMS «NetNumen» обеспечивает управление конфигурацией сети, контроль и управление устранением неисправностей, управление качеством и управление безопасностью. Таким образом, уровень управления оборудованием DWDM совмещается с элементами уровня управления цифровыми транспортными системами. Гибкая настройка фильтров позволяет быстро и качественно производить анализ работы системы и выявлять предаварийные ситуации на ранних стадиях. Предусмотрена возможность получить единовременный журнал событий со всей сети. Система управления обеспечивает выполнение следующих основных функций.

Управление конфигурацией:

- установка параметров сетевых элементов;
- синхронизация баз данных СУ и сетевого элемента;
- синхронизация баз данных для всех типов и версий сетевых элементов;
- сбор идентификационной информации об элементах сети;
- ввод пассивных сетевых элементов, не имеющих электронных элементов идентификации (микроконтроллеры);
- графическое представление секций (bayface layout), установленных плат и устройств, а также их технического состояния, и индикация цветом аварийного состояния сетевого элемента;
- ввод и хранение информации о соединениях и тоннелях (сервисах) физического уровня (оптические кабели и волокна), оптического уровня OTN;
- прокладка, управление и мониторинг соединений и тоннелей всех уровней OTN;
- графическое представление и отображение технического и аварийного состояния соединений и тоннелей всех уровней OTN. Контроль и управление устранением неисправностей;
- предоставление информации о неисправностях и изменении состояния контролируемых сетевых элементов в реальном масштабе времени (менее 1 мин);
- ведение подробных журналов регистрации неисправностей;

- фильтрация и корреляция сигналов неисправностей;
- управление режимами контроля работоспособности и поступления аварийных и других сообщений от сетевых элементов, блоков и портов ввода вывода (в том числе «маскирование» аварийных сообщений).
- изменение категории аварийных сигналов;
- поддержка датчиков контроля и управления внешней аварийной сигнализации на объекте;
- включение/отключение звуковой сигнализации и изменение уровня громкости при поступлении сигналов неисправности на рабочее место оператора.

Управления качеством:

- активация/деактивация измерения показателей качества на сетевых элементах, секциях;
- ведение подробного журнала регистрации показателей качества по уровням VC, MS, RS, OTU (FEC) с возможностью вывода всей доступной оператору информации на печать и сохранения на внешнем носителе;

Управление безопасностью:

- идентификация и аутентификация пользователя;
- разграничения прав доступа;
- протоколирование и пассивный аудит;
- контроль целостности и защищенности хранимой и передаваемой информации.

NMS «NetNumen» реализуется по архитектуре «клиент-сервер». Для работы серверной части необходимы ОС Windows Server и СУБД Microsoft SQL Server, для работы клиентской части – ОС Windows и Internet Explorer.

3.8 Краткое сравнение сетей WDM.

Для понимая различия CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) и DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) кроме различного количества каналов. Технологии аналогичны в принципах организации каналов связи, ввода-вывода каналов, но имеют абсолютно разную степень технологического исполнения, что в значительной степени сказывается на параметрах линии и стоимости решений.

Количество длин волн и каналов CWDM и DWDM.

Технология спектрального уплотнения CWDM подразумевает использование 18 длин волн, в то время как при точном спектральном уплотнении DWDM может быть задействовано от 40 длин волн.

Сетка частот CWDM и DWDM.

Каналы в технологии CWDM разделяются по длинам волн, в DWDM - по частоте. Длина волны вычисляется вторично из отношения скорости света в вакууме к частоте. Для CWDM используется сетка длин волн с шагом в 20 нм, для стандартных DWDM систем сетки частот 100 ГГц и 50 ГГц, для высокоплотных DWDM используются сетки 25 и 12,5 ГГц.

Длины волн и частоты CWDM и DWDM.

В технологии CWDM используются длины волн из диапазона 1270 - 1610 нм. С учетом допусков и полосы пропускания фильтров диапазон расширяется до 1262,5 - 1617,5, что составляет 355 нм. получаем 18 длин волн.

Для DWDM с сеткой 100 ГГц, несущие располагаются в диапазоне от 191.5 (1565.50 нм) ТГц до 196.1 ТГц (1528.77 нм), т.е. диапазон шириной в 4,6 ТГц или 36,73 нм. Итого 46 длин волн для 23 дуплексных каналов.

Для DWDM с сеткой 50 ГГц частоты сигналов лежат в диапазоне 192 ТГц (1561.42 нм) - 196 ТГц (1529,55 нм), что составляет 4 ТГц (31,87 нм). Здесь располагается 80 длин волн.

Возможность усиления CWDM и DWDM.

Системы спектрального уплотнения на базе технологии CWDM не подразумевают усиления многокомпонентного сигнала. Связано это с отсутствием оптических усилителей, работающих в столь широком спектре.

Технология DWDM наоборот, подразумевает усиление сигналов. Многокомпонентный сигнал может усиливаться стандартными эрбиевыми усилителями (EDFA).

Дальность работы CWDM и DWDM.

Системы CWDM предназначены для работы на линиях относительно небольшой протяженности, порядка 50-80 километров.

DWDM системы позволяют передавать данные на расстояния много превышающие 100 километров. Кроме того, в зависимости от типа модуляции сигнала, DWDM каналы могут работать без регенерации на расстоянии более 1000 километров.

Так стоит обратить внимание:

1) В начале 2015 года производители, в том числе и СКЕО, представили CWDM SFP модули с длиной волны 1625 нм. Эта длина волны не специфицирована ITU G.694.2.

2) Сетки частот для CWDM описаны в стандарте ITU G.694.2, для DWDM - в стандарте G.694.1

Таблица 12. Сравнение WDM систем.

	Длины волн	Длины волн, нм	Усиление	Расстояние передачи сигнала	Длины частот ГГц
CWDM	18	1270 - 1610	Нет	До 100 км.	Около 250 и выше
DWDM	От 40 и выше	1565.50 - 1528.77	Есть	От 100 км до 4000	50-100-200

Подведем итог:

- «облегченный вариант» DWDM системы имеет 200-гигагерцовую сетку и способен обеспечить 15 полноценных дуплексных канала в диапазоне C, оставив при этом место еще и для 15 CWDM каналов (1270нм-1510нм, 1590нм, 1610нм);

- стандартная DWDM система имеет 100-гигагерцовую сетку и способна обеспечить 30 полноценных дуплексных канала в диапазоне C и 26 полноценных дуплексных канала в диапазоне L, при этом также оставив место еще и для 15 CWDM каналов (1270нм-1510нм, 1590нм, 1610нм);

- полная DWDM система имеет 50-гигагерцовую сетку и способна обеспечить 60 полноценных дуплексных каналов в диапазоне C и 52 полноценных дуплексных каналов в диапазоне L, опять же оставив место еще и для 15 CWDM каналов (1270нм-1510нм, 1590нм, 1610нм);
- Стоимость DWDM системы высока на старте, при этом стоимость добавления нового канала ниже, чем у аналогичных систем уплотнения (CWDM);
- DWDM можно строить как с использованием всех возможных типов усилителей и компенсаторов дисперсии, так и с использованием только необходимого типа (или вообще без усилителей/компенсаторов).
- DWDM является одной из самых дальнобойных систем уплотнения за счет возможности использования EDFA усилителей;

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Целью дипломного проекта являлось проектирование транспортной сети на участке г. Бишкек – г. Каинды. Было принято решение строить систему передачи, на базе мультисервисной платформы «ZXONE 8000(ZTE)» китайского производства. Был организован транзит 7 каналов проектируемой транспортной сети, а также в промежуточных пунктах произведено выделение необходимого числа каналов 10GE, с учетом потребностей населения и перспективы увеличения числа абонентов. Под каждый населенный пункт был заложен запас мощности ВОЛС с учетом увеличения пропускной способности до 40%.

Кроме того, новая система передачи позволит предоставить абонентам качество услуг, соответствующее современным требованиям систем связи. По расчетам экономических показателей видно, что затраты на строительство транспортной сети окупаются за счет предоставляемых услуг Internet и аренды каналов. Будет значительно увеличена емкость голосовых каналов и подготовлена хорошая пропускная способность под переключение имеющихся базовых станций, на новые и более современные технологии WDM. После запуска системы можно будет значительно расширить предоставление услуг IPTV, по качеству и количеству транслируемых каналов.

Проведены расчеты дисперсии и затухания, выбрана длина регенерационного участка. Число линейных усилителей на линии равно 4. В проекте так же были рассмотрены и описаны все виды дисперсий, возникающих при построении оптической магистрали, был произведен расчет затухания из-за хроматической дисперсии, подобраны необходимые усилители, которые создали оптический сигнал способный проходить без усилителя до границы.

На основании вышеперечисленного можно сделать вывод: строительство данного участка связи является целесообразной т.к. существующая сеть связи не удовлетворяет потребностей в обеспечении качественной связью, сдерживает внедрение современных технологий, а также отвечает современным требованиям. Можно будет осуществлять привлечение арендаторов на свободные волокна, для более полной загрузки свободных линий, а также организовать передачу второстепенного трафика и новых потоков STM. Так же можно будет на основе проектируемой линии DWDM, построить проводную линию Internet по технологии GePON, расширить и модернизировать беспроводную сеть по технологии CWDM для увеличения пропускной способности сети.

Технология DWDM перспективна и многофункциональна.

Список используемой литературы

1. Вербовецкий А.А. «Основы проектирования цифровых оптоэлектронных систем связи» – М., Радио и связь, 2001;
2. Гроднев И.И. «Волоконно-оптические линии связи» – М.: Радио и связь, 2007;
3. Кириллов В. И. – «Многоканальные системы передачи» – М., Новое знание, 2002;
4. Ибрагимов Р. З., Фокин В. Г. «Расчет оптических параметров DWDM системы» – Электросвязь. 2015. №10;
5. Иванов Г.А., Первадчук В.П., «Технология производства и свойства кварцевых оптических волокон», учеб. пособие – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011;
6. Иванова В.И. «Цифровые и аналоговые системы передачи», учебное пособие под ред. – М: Горячая линия – Телеком – 2003;
7. Скляр О.К. «Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы.» – М.: Политех-4, 2004;
8. Скворцов Б.В., Иванов В.И., Крухмалев В.В. «Оптические системы передачи.» – М.: Радио и связь, 2004;
9. Савинов В. В., Фокин В. Г. «Методы оптимального распределения трафика для сетей связи» – Телекоммуникации. 2015. №10;
10. Фокин В. Г. «Проектирование оптической сети доступа», учеб. пособие – Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. Новосибирск, 2012;
11. Фокин В. Г. «Проектирование оптической мультисервисной транспортной сети», учеб. пособие – Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. Новосибирск, 2009; \
12. Фокин В.Г. «Оптические системы передачи и транспортные сети», учеб. пособие. – М. : Эко-Трендз, 2008;
13. G.652: Характеристики одномодовых волоконно-оптических кабелей;
14. ГОСТ 2.701— 2008 Единая система конструкторской документации. Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению;
15. ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация;

16. ГОСТ 12.1.004—91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования безопасности;
17. ГОСТ 12.1.019—79 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;
18. ГОСТ Р 50723-94. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий; 2
19. ANSI Z.I 17.1 Safety ANSI Z.I 17.1 Safety

Отзыв

От руководителя на выпускную квалификационную работу студента

Группы СССК(д)-1-15

Жищенко Виктор Владимировича

На тему: «Технологии DWDM при построении областных оптических линий»

Выпускная квалификационная работа студента Жищенко Виктора Владимировича.

Состоит из обзора стандартов и графического материала. В работе представлена грамотно разработанная техническая часть, расчет дисперсии связи на основе технологии DWDM, был произведен расчет нагрузки на сеть, количество частотных каналов, пропускная способность магистральной линии.

В первой главе сделан обзор об основных характеристиках технологии DWDM и также рассказано про принципы работы технологии.

Во второй главе рассмотрено оборудование DWDM для построения сети и описаны основные характеристики. Также описаны мировые марки производителей оборудования DWDM и описана выбранное оборудование.

Третья глава является расчетной частью выпускной квалификационной работы. Расчет нагрузки на сеть, расчет дисперсии на всех используемых каналах, расчет пропускной способности, также сделан расчет электропотребления и описание управления.

Тема выпускной квалификационной работы Жищенко Виктор актуальна и полностью соответствует современным требованиям в отрасли телекоммуникаций и представляет практический интерес. В целом выпускная работа соответствует требованиям ГОСТ и заслуживает оценки «отлично» а Жищенко В.В. достоин присвоения квалификации «Бакалавр» по профилю «Сети связи и системы коммутации».

Преподаватель

Каф. «Телекоммуникации»



Келдибекова А.К.

РЕЦЕНЗИЯ

От рецензиата на выпускную квалификационную работу студента

Группы СССК(дот) 1-15

Жищенко Виктор Владимирович

На тему: «Технология DWDM при построении облостных оптических
линий»

Выпускная квалификационная работа студента группы СССК(дот) 1-15 Жищенко Виктор Владимирович на тему: «Технология DWDM при построении облостных оптических линий» выполнено согласно требованиям нормативных документов.

Проделанная определенная работа по теоретической и по расчетной части, обработаны материалы, увязанные с темой выпускной квалификационной работы.

Выполненная выпускная квалификационная работа заслуживает оценки «отлично», а Жищенко Виктор Владимирович квалификации «Бакалавра», сети связи и системы коммутации.

Преподаватель

ИЭТ каф. «Телекоммуникации»



Агибаев М.А.