

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

Жақсылық Айымжан Мұхамбетқалиқызы

Проектирование волоконно – оптических линий связи на основе DWDM

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Шифр и наименование специальности

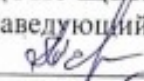
Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт автоматки и информационных технологии

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой ЭТиКТ
 Таштай Е.Т.
«20» 05 2022 г.

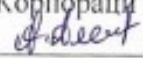
ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Проектирование волоконно-оптических линий связи на основе
DWDM»


по специальности 5В071900 – Радиотехника, электроника и
телекоммуникации

Выполнил

Жаксылық А.М.

Рецензент
Зам.директора по производству
Корпорации «Сайман»
 А.Алиев

Научный руководитель
к.ф.-м.н, ассоц.-профессор

 Жунусов К.Х.

« 10 » 05 2022 г.

« 23 » 05 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени
К.И.Сатпаева

Институт автоматизации и информационных технологий

Кафедра «Электроники, телекоммуникации и космических технологий»

5B071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой ЭТиКТ

Таштай Е.Т.

«21» XII 2021 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Жаксылык Айымжан Мұхамбеткалиқызы

Тема: «Проектирование волоконно-оптических линий связи на основе DDWDM».

Утверждена приказом Ректора Университета №489-П/О от «24» декабря 2022 года.

Срок сдачи законченной работы «15» мая 2022 г.

Исходные данные к дипломной работе:

1) Схема оптической линии связи; 2) Основные характеристики и структурная схема DDWDM – мультиплексоров.

Краткое содержание к дипломной работе:

а) Краткий обзор DDWDM технологии; б) Методы типового расположения DDWDM - мультиплексоров; в) Расчет длины регенерационного участка; г) Расчет регенерационного участка по затуханию; д) Расчет затухания.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены 10-15 слайдов презентации работы.

Список литературы: 1. Иванов В.И. Волоконно-оптические системы передачи, 2011; 2. Скляр О.К. Волоконно-оптические сети и системы связи.-СПб.: «Лань», 2010;

URL: https://ftp.utcluj.ro/pub/users/cemil/dDWDM/dDWDM_Intro/16_5311757.pdf (дата обращения 19.05.2020).


URL: https://www.tutorialspoint.com/optical_networks/optical_networks_DWDM_technology.htm (дата обращения 20.05.2020)

ГРАФИК
подготовки дипломной работы (проекта)

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Теоретическая часть	10.01.2022-20.01.2022	Отчет – не менее 5-10 стр и 1-2 слайда
Основная часть	20.01.2022-10.03.2022.	Отчет не менее 5-10 стр , 1-2.
Расчетная часть	11.03.2022-28.04.2022.	Отчет не менее 10 стр . 3-5 слайдов 5
Заключение	01.04.2022-10.05.2022	Отчет не менее 1 стр , 10 слайд

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Маг.техн.наук, лектор С.Ибекеев	20.05.2022	

Научный руководитель  Жунусов К.Х.

Задание принял к исполнению обучающийся

 Жаксылык А.М.

Дата

«15» 05 2022 г.

АННОТАЦИЯ

Волоконно-оптические системы связи проходят очередной этап своего развития.

Рост потребностей в увеличении объемов связи, как с точки зрения увеличения скорости передачи информации, так и с позиции охвата новых регионов, привел к необходимости появления новых волоконно – оптических технологий, в частности технологий спектрального (частотного) мультиплексирования (уплотнения) каналов, получивших название DWDM – и DWDM – технологий.

Расчитаны длины регенерационного участка с учетом поляризационно-модовой дисперсии.

Выбрана интеллектуальная оптическая транспортная платформа OptiX.

АҢДАТПА

Талшықты-оптикалық байланыс жүйелері өз дамуының келесі кезеңінен өтуде.

Ақпаратты беру жылдамдығын арттыру тұрғысынан да, жаңа аймақтарды қамту тұрғысынан да байланыс көлемін ұлғайту қажеттілігінің артуы жаңа талшықты-оптикалық технологиялардың, атап айтқанда, спектрлік (жиілік) технологиялардың пайда болуына әкелді.) DWDM - және DWDM - технологиялары деп аталатын арналарды мультиплексірлеу (мультиплекстеу).

Регенерация секциясының ұзындықтары поляризация режимінің дисперсиясын ескере отырып есептелді.

OptiX интеллектуалды оптикалық көлік платформасы таңдалды.

ANNOTATION

Fiber-optic communication systems are going through the next stage of development.

The growing need to increase the volume of communication, both in terms of increasing the speed of information transmission and the coverage of new areas, has led to the emergence of new fiber-optic technologies, in particular, spectral (frequency) technologies.) Multiplexing (multiplexing) of channels called DWDM and DWDM technologies.

The lengths of the regeneration section are calculated taking into account the variance of the polarization regime.

OptiX intelligent optical transport platform was chosen.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Теоретическая часть	10
1.1 Виды мультиплексирования	10
1.2 Введение в DWDM	12
1.3 Архитектура оптических транспортных сетей	16
1.4 Уплотненный DWDM (DDWDM) и его топологии	19
2 Расчетная часть	26
2.1 Расчет длины регенерационного участка с учетом хроматической дисперсии	26
2.2 Расчет длины регенерационного участка с учетом поляризационно-модовой дисперсии (PMD)	27
2.3 Расчет длины участка по затуханию	29
2.4 Выбор уровня системы передачи	31
3 Выбор оборудования	33
3.1 Интеллектуальная оптическая транспортная платформа OptiX	33
3.2 Выбор магистрального кабеля	38
3.3 Технические характеристики оптического волокна	43
3.4 Выбор полиэтиленовой трубы для прокладки оптоволоконных кабелей	44
3.5 Прокладка оптического кабеля в грунт	45
3.6 Выбор усилителя	47
3.7 Физика процесса накачки	49
3.8 Достоинства серии EDFA-1550	49
3.9 Разбивка трассы на секции мультиплексирования и регенерации	50
Заключение	52
Список использованной литературы	53

ВВЕДЕНИЕ

DWDM (wavelength division multiplexing) означает мультиплексирование с разделением по длине волны, DWDM (dense wavelength division multiplexing) – плотное мультиплексирование с разделением по длинам волн. Данные технологии позволяют в сотни раз увеличить пропускную способность волоконно – оптических каналов и сетей связи. Их применение, вместе с технологиями временного уплотнения (TDM), позволило достичь терабитных скоростей передачи информации по оптическому волокну.

Высокая стоимость аппаратуры оказывается существенным негативным фактором для реализации технологии DDWDM. При использовании близких частот требуются узкополосные полупроводниковые лазеры с высокой стабильностью длины волны генерируемого излучения, которые являются наиболее дорогим элементом DWDM – систем, сдерживающим распространение последних. Тем не менее при всех недостатках основными преимуществами сетей DWDM остаются:

- высокие скорости передачи и оптимизация оптических волокон;
- возможность обеспечения 100 % – ной защиты на основе кольцевой топологии и простого наращивания каналов в оптической магистрали.

В настоящее время сети DDWDM применяются для построения высокоскоростных транспортных сетей операторов национального масштаба, на основе, топологий «точка – точка» или «кольцо» и мощных городских транспортных магистралей, которые могут использоваться большим количеством пользователей с потребностями в высоких скоростях передачи и использующих различные протоколы.

Целью данной работы является проектирование магистральной волоконно – оптической линии передачи с использованием технологии волнового уплотнения каналов DDWDM. Проектирование ВОЛП подразумевает решение некоторых задач, таких как: определение трассы прокладки волоконно – оптического кабеля, выбор аппаратуры, типа кабеля, разработка схемы организации связи. Необходимо рассмотреть технологию строительства ВОЛП, произвести измерения параметров линии и мероприятия по приемке и вводу в эксплуатацию проектируемой ВОЛП.

1 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1 Виды мультиплексирования

Мультиплексирование может быть определено как метод, с помощью которого несколько аналоговых или цифровых сигналов объединяются в один сигнал через общую среду. Распространенный вид мультиплексирования объединяет несколько низкоскоростных сигналов для отправки по единственной высокоскоростной линии. Это обеспечивает конфиденциальность и эффективность. Весь процесс может быть выполнен с использованием устройства, а именно MUX или мультиплексора, и основная функция этого устройства заключается в объединении n -входных линий для генерации одной выходной линии. Таким образом, MUX имеет много входов и один выход. Устройство называется DEMUX или демультиплексор используется на приемном конце, который делит сигнал на составляющие его сигналы. Таким образом, он имеет один вход и несколько выходов. (рисунок 1.1)

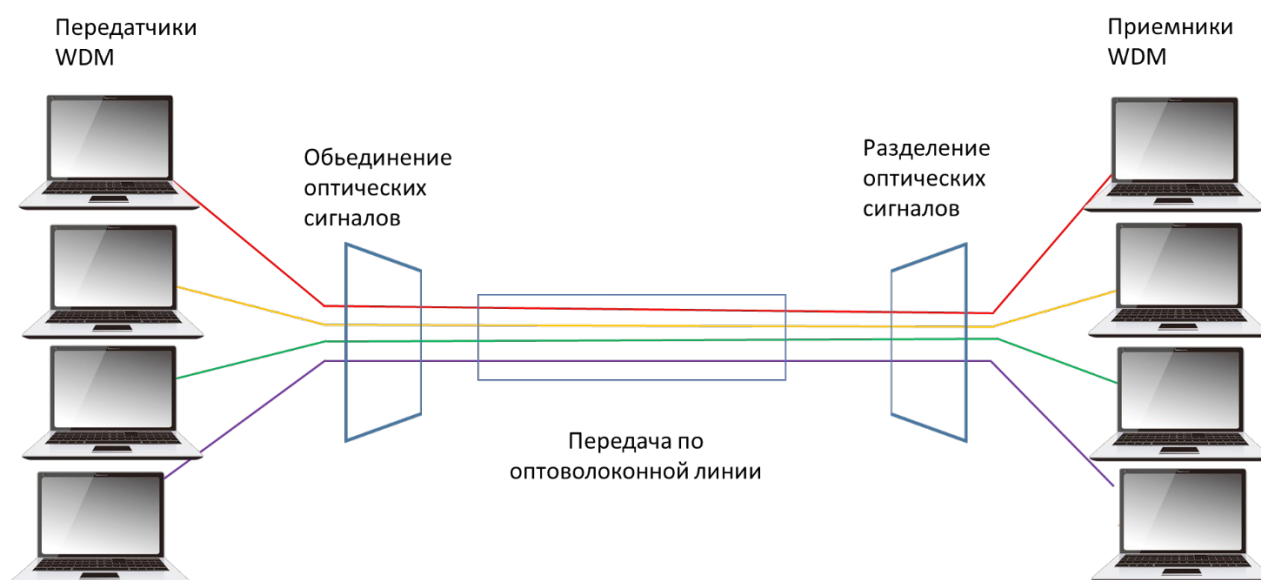


Рисунок 1.1 – Мультиплексирование

1.1.1 Типы мультиплексирования.

Методы мультиплексирования в основном используются в коммуникации, и они подразделяются на три типа. 3 типа методов мультиплексирования включают в себя следующее.

- Мультиплексирование с частотным разделением (FDM)
- Мультиплексирование с разделением по длине волны (DWDM)
- Мультиплексирование с временным разделением (TDM)

а) Мультиплексирование с частотным разделением (FDM)

Полоса пропускания - это общая пропускная способность канала для передачи данных. В FDM полная полоса пропускания делится между пользователями. Следовательно, каждый пользователь получает собственную полосу пропускания или частотный диапазон. Другими словами, все пользователи могут использовать канал одновременно, но они имеют свои собственные полосы пропускания или частотные диапазоны для передачи данных.

На передающей стороне все сигналы объединяются в один сигнал с использованием мультиплексора. После этого сигнал проходит через канал. На приемном конце находится демультиплексор. Он разделяет композитный сигнал обратно на отдельные сигналы. Недостаток этого метода мультиплексирования состоит в том, что, поскольку все сигналы передаются одновременно, существует возможность перекрестных помех. Вкратце, FDM делит полосу пропускания и предоставляет частоты для пользователей. Это не делит время между пользователями.

б) Мультиплексирование с временным разделением (TDM)

В TDM, пользователи могут получить полную полосу пропускания канала для отправки сигналов, но за фиксированный временной интервал. Это масштабирует время среди пользователей. Предположим, что есть три пользователя как u_1 , u_2 и u_3 и фиксированный временной интервал равен t_0 . Во-первых, u_1 получит всю полосу частот за время t_0 . Когда u_1 передает данные, другие пользователи не могут передавать данные. После того, как этот временной интервал закончен, u_2 может передавать данные в течение времени t_0 . Когда u_2 передают данные, другие пользователи не могут передавать данные. Затем u_3 передает данные за время t_0 .

Вкратце, TDM делит время, а не пропускную способность между пользователями. Они могут передавать сигналы только в пределах доступного временного интервала. Так как только один сигнал передается за раз, перекрестные помехи в TDM минимальны.

в) Мультиплексирование с разделением по длине волны (DWDM)

Оптоволоконная связь использует DWDM. Концепция DWDM относится к физике. Когда белый световой луч проходит через призму, он разделяется на отдельные цветные световые лучи призмой. Каждый луч света имеет разные длины волн. Это работает и наоборот. Отдельные цветные лучи объединяются назад, чтобы создать луч белого света на рисунке 1.2[1]



Рисунок 1.2- Концепция DWDM

DDWDM объединяет несколько световых лучей из каналов, используя мультиплексор, и отправляет их в виде единого светового луча через оптоволоконный кабель. На приемном конце демультиплексор разделяет одиночный свет обратно на несколько световых лучей и отправляет их на свои собственные каналы. В целом DWDM похож на FDM, но передача происходит по оптоволоконным каналам. Следовательно, мультиплексирование и демультиплексирование включают в себя оптические сигналы.

Разница между FDM TDM и DWDM заключается в том, что FDM делит ширину полосы на меньшие частотные диапазоны, и каждый пользователь передает данные одновременно через общий канал в своем частотном диапазоне, TDM выделяет фиксированный временной интервал для каждого пользователя для отправки сигналов через общий канал. DWDM объединяет несколько лучей света из нескольких каналов и объединяет их в один луч света и передает через оптоволоконный кабель, аналогичный FDM. Следовательно, DWDM является более совершенной технологией для использования в оптоволокне.

1.2 Введение в DWDM

DWDM - это технология, которая позволяет передавать различные оптические сигналы по одному волокну. Ее принцип, по сути, такой же, как мультиплексирование с частотным разделением каналов (FDM). То есть несколько сигналов передаются с использованием разных несущих, занимающих непересекающиеся части частотного спектра. В случае DWDM используемая полоса спектра находится в области 1300 или 1550 нм, которые представляют собой окна с двумя длинами волн, в которых оптические волокна имеют очень низкую потерю сигнала.

Первоначально каждое окно использовалось для передачи одного цифрового сигнала. С развитием оптических компонентов, таких как лазеры с распределенной обратной связью (DFB), волоконные усилители на основе эрбия (EDFA) и фотодетекторы, вскоре стало понятно, что каждое передающее окно может фактически использоваться несколькими оптическими сигналами.

Фактически, количество оптических сигналов, мультиплексированных в окне, ограничено только точностью этих компонентов. Благодаря современной технологии более 100 оптических каналов могут быть объединены в одно волокно. Технология была тогда названа уплотненной DWDM (DDWDM).

1.2.1. DWDM на дальние расстояния.

В 1995 году операторы дальней связи в Соединенных Штатах начали развертывание

систем передачи DWDM типа "точка-точка", чтобы повысить пропускную способность своих сетей при одновременном использовании существующих оптоволоконных инфраструктур. С тех пор DWDM штурмом захватил рынок дальней связи. Технология DWDM позволяет справляться с постоянно растущими требованиями к емкости, повышая гибкость при обновлении емкости.

Однако наиболее распространенным фактором является экономическое преимущество решения DWDM по сравнению с конкурирующими решениями, такими как мультиплексирование с пространственным разделением (SDM) или расширенное мультиплексирование с временным разделением (TDM), для повышения пропускной способности сети. «Открытое» решение DWDM использует транспондеры в терминальных мультиплексорах (TM) DWDM и встроенные оптические усилители, которые совместно используются каналами с несколькими длинами волн.

Транспондер, по сути, представляет собой оптоэлектронный (О / Е / О) преобразователь 3R, который преобразует оптический сигнал, соответствующий стандарту G.957, в соответствующий канал длины волны (и наоборот), в то же время повторно подключая, изменяя форму и уменьшая электрическую мощность сигнала. В решении SDM используются несколько параллельных пар волокон, каждая из которых оснащена регенераторами SDH вместо нескольких длин волн, использующих один и тот же встроенный оптический усилитель. Обновление до более высоких скоростей TDM (например, от 2,5 Гбит / с STM-16 до 10 Гбит / с STM-64) является лишь кратковременным решением, поскольку ухудшение передачи, такое как дисперсия, плохо масштабируется при увеличении скоростей TDM, особенно на стандартных одномодовое волокно.

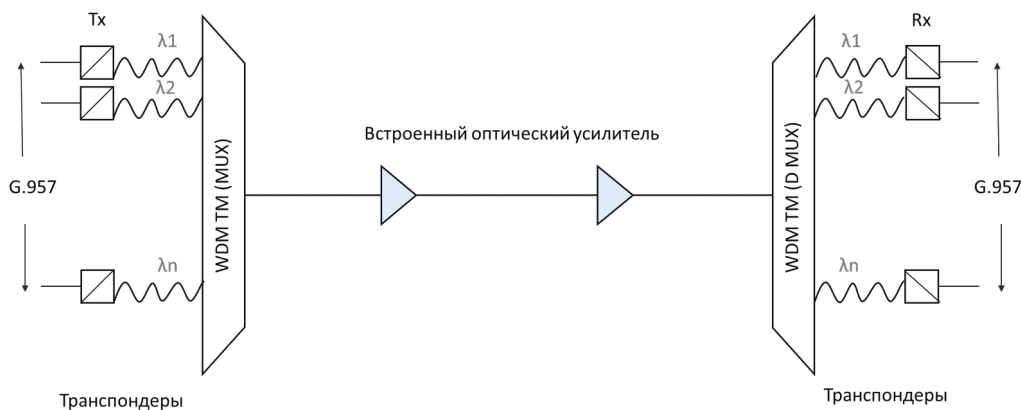


Рисунок 1.3- DWDM на длинные расстояния

Тематическое исследование продемонстрировало, что двухточечные системы DWDM на большие расстояния явно являются более экономически эффективным решением, чем SDM, даже для трех каналов STM-16 (рисунок 1.3). Если учитываются только затраты на оборудование для передачи и регенерации (т.е. регенераторы SDH в случае SDM и модули DWDM TM с транспондерами со встроенными оптическими усилителями в случае DWDM), начальная стоимость канала с использованием технологии DWDM больше чем вдвое больше, чем у

SDH. Однако решение DWDM является более экономичным для развертывания трех каналов и более в сети из-за совместного использования встроенного оптического усилителя [2].

1.2.2. DWDM на короткой дистанции

Регенераторы не нужны, и оптические искажения оказывают меньшее влияние из-за ограниченных расстояний в сетях ближней связи, поэтому преимущества DWDM менее очевидны, чем преимущества SDM или усовершенствованных решений TDM. Тем не менее, истощение волокон и недорогие оптические компоненты в настоящее время движут DWDM в столичном регионе.

Приложение краткосрочной связи связано с соединением нескольких точек присутствия (POP) в одном городе. Транспортная сеть имеет как минимум два POP на город, где клиенты могут соединяться. С помощью методов соединения двух узлов, таких как отбрасывание и продолжение, сети клиентов могут быть связаны с транспортной сетью через два разных POP.

Это приводит к очень безопасной архитектуре, которая может даже выдерживать сбой POP без какого-либо влияния на трафик. Таким образом, поток трафика между двумя POP в городе состоит не только из трафика, проходящего через город, но также из трафика, который прекращается в городе и защищается с помощью Drop и Continue. Эти повышенные требования к пропускной способности внутри города привели к развертыванию DWDM в ближнем участке транспортной сети.

Основная причина, по которой DWDM предпочтительнее SDM, заключается в том, что волокна в городе должны быть арендованы у третьей стороны, или должна быть построена волоконно-оптическая сеть. Лизинг или строительство городских сетей - это не только дорогостоящий процесс, но и менее гибкий подход к модернизации мощностей. В динамичной среде, где распределение трафика и объемы быстро меняются, количество волокон, подлежащих аренде или строительству, сложно предсказать заранее. Следовательно, использование технологии DWDM имеет явные преимущества в гибкости, поскольку каналы длины волны могут быть активированы за очень короткое время.

Несмотря на то, что в мире существуют специальные системы DWDM ближней связи, выгодно использовать систему DWDM того же типа для своей сети дальней связи. Несмотря на то, что системы DWDM на короткие расстояния дешевле, чем их аналоги на большие расстояния, и из-за того, что могут использоваться их недорогие оптические компоненты, они приводят к гетерогенной сети, что не является предпочтительным по нескольким причинам. Во-первых, использование двух разных систем приводит к увеличению эксплуатационных и управленческих расходов. Например, гетерогенная сеть требует больше запасных частей оборудования, чем однородная сеть. Во-вторых, взаимодействие между двумя различными системами может создавать проблемы. Например, узкое место

может возникнуть из-за того, что системы DWDM на короткие расстояния обычно поддерживают меньшее количество длин волн, чем системы DWDM на большие расстояния [3].

1.2 Технология DWDM для передачи данных. Технологическими препятствиями в высокоскоростных сетях передачи данных (например, в центрах обработки данных) являются энергопотребление и эффективность использования пространства. Высокоскоростные телекоммуникационные сети были усилены с помощью технологии цифрового когерентного обнаружения с процессором цифровых сигналов (DSP); однако энергопотребление слишком велико (> 10 Вт), и применение этой технологии в крупномасштабном центре обработки данных нереально. Традиционное «прямое обнаружение без компенсации дисперсии» является предпочтительным с точки зрения энергопотребления, а технология DWDM в системе передачи данных часто используется для обеспечения высокоскоростных приемопередатчиков небольшого размера и с низким энергопотреблением.

Например, многие Ethernet-трансиверы 100G, которые интенсивно используются в центрах обработки данных, используют четырехволновой DWDM в O-диапазоне. Хроматическая дисперсия обычного одномодового волокна (волокна ITU-T G.652) в нулевой полосе становится равной нулю, а дисперсия волокна минимизируется. Кроме того, четырехволновая схема DWDM уменьшает битовую скорость на канал ($100/4 = 25$ Гбит / с), что делает допуск на дисперсию в четыре раза больше, чем у одноканальной системы 100 Гбит / с. [4].

Существует два варианта набора из четырех длин волн в O-диапазоне, а именно CDWDM4 и LAN-DWDM. Диапазоны длин волн показаны на рисунках 5 и 6 вместе с максимальной и минимальной хроматической дисперсией обычного одномодового волокна. Длины волн CDWDM4 такие же, как в CDWDM телекоммуникаций, что позволяет использовать экономически эффективную оптику, разработанную для телекоммуникационных приложений. Длины волн LAN-DWDM расположены более плотно, чем длины волн CDWDM4, и расположены почти на длине волны с нулевой дисперсией волокна. Такое распределение длины волны позволяет передавать со скоростью 100 Гбит / с длиннее 10 км (например, 100GBASE-LR4 и ER4) без ограничения хроматической дисперсией волокна.

1.3 Архитектура оптических транспортных сетей

Оптические транспортные сети (ОТС) представляют собой естественный следующий шаг в развитии транспортных сетей. С точки зрения архитектуры высокого уровня, не следует ожидать, что архитектуры ОТС будут значительно отличаться от архитектур SDH. Тем не менее, тот факт, что SDH предполагает проектирование цифровых сетей, а ОТС - проектирование аналоговых сетей, приводит к некоторым существенным, хотя и тонким различиям. Изучение этих различий приводит нас к пониманию аспектов ОТС, которые могут отличаться от

их аналогов в SDH.

Развивающиеся архитектуры DWDM ОТС (включая топологии сетей и схемы живучести) будут очень похожи - если не зеркальны - на сети SDH TDM. Это должно удивлять, поскольку и SDH, и ОТС являются мультиплексированными сетями с установлением соединения. Основные отличия связаны с формой технологии мультиплексирования: цифровой TDM для SDH и аналоговый DWDM для ОТС.

Цифровое и аналоговое различие оказывает глубокое влияние на фундаментальные компромиссы цена / производительность во многих аспектах сети ОТС и проектирования системы. В частности, сложности, связанные с проектированием и обслуживанием аналоговых сетей, объясняют большинство проблем, связанных с ОТС.

Чтобы удовлетворить кратковременную потребность в увеличении емкости, двухточечные системы DWDM будут по-прежнему развернуты в большом масштабе. По мере роста количества длин волн и расстояния между терминалами возникает растущая потребность в добавлении и / или отбрасывании длин волн на промежуточных участках. Следовательно, гибкие реконфигурируемые оптические ADM (OADM) станут неотъемлемыми элементами сетей DWDM.

Поскольку в несущих сетях развернуто больше длин волн, возникнет необходимость в управлении емкостью и сигналами переключения между сетями на уровне оптического канала. Аналогичным образом появились DXC для управления емкостью на электрическом уровне, а оптические кросс- коммутаторы (ОХС) - для управления емкостью на оптическом уровне.[2]

Первоначально потребность в управлении пропускной способностью оптического уровня будет наиболее острой в среде базовой транспортной сети. Здесь логическое связывание на основе ячеек будет поддерживаться посредством физических топологий, включая общие защитные кольца на основе OADM и архитектуры восстановления ячеек на основе ОХС. Выбор будет зависеть от требуемой степени пропускной способности поставщика услуг по сравнению со сборкой и требований шкалы времени живучести.

По мере появления аналогичных требований к управлению полосой пропускания для городских офисов и сред доступа, решения на основе колец OADM также будут оптимизированы для этих приложений: оптические совместно используемые защитные кольца для требований к сетке и оптические выделенные защитные кольца для требований к концентратору. Следовательно, точно так же, как ОА был технологическим фактором, обеспечивающим появление двухточечных линейных систем DWDM, OADM и ОХС будут инициаторами появления ОТС.

Поскольку элементы оптической сети предполагают функциональность транспортного уровня, традиционно предоставляемую оборудованием SDH, оптический транспортный уровень станет служить объединяющим транспортным уровнем, способным поддерживать как унаследованные, так и конвергентные форматы сигналов базовой сети с пакетной коммутацией. Конечно, переход поставщика услуг к ОТС будет прогнозироваться при передаче функциональности транспортного уровня, подобного SDH, на оптический уровень одновременно с

разработкой философии обслуживания и связанных с ней функций обслуживания сети для появляющегося оптического транспортного уровня.

Живучесть является центральной ролью оптических сетей как объединяющей транспортной инфраструктуры. Как и во многих других архитектурных аспектах, живучесть оптической сети будет иметь высокое сходство с живучестью SDH, поскольку топологии сети и типы сетевых элементов очень похожи. Внутри оптического уровня механизмы живучести будут по-прежнему предлагать максимально быстрое восстановление после обрывов волокна и других неисправностей физического носителя, а также обеспечивать эффективное и гибкое управление защитной способностью.

ОТС концептуально аналогичен SDH в том смысле, что определены подуровни, которые отражают отношения клиент-сервер. Поскольку ОТС и SDH являются мультиплексированными сетями, ориентированными на установление соединения, не должно вызывать удивления тот факт, что схемы восстановления и защиты для обеих этих систем удивительно похожи. Тонкое, но важное отличие стоит повторить: в то время как сеть TDM основана на манипулировании цифровыми временными интервалами, сеть ОТС / DWDM основана на манипулировании аналоговым частотным интервалом или оптическим каналом (длиной волны). Таким образом, хотя мы можем ожидать, что аналогичные архитектуры защиты и восстановления будут возможны с обеими технологиями, типы сбоев сети, которые необходимо учитывать в любой конкретной схеме живучести, могут быть совершенно разными.

1.3.1. Оптическая живучесть слоя. Телекоммуникационные сети обязаны обеспечивать надежное бесперебойное обслуживание своих клиентов. Общие требования доступности составляют порядка 99,999% или выше, что подразумевает, что сеть не может быть недоступна в среднем более 6 минут в год. В результате живучесть сети является основным фактором, который влияет на то, как эти сети спроектированы и эксплуатируются. Сети должны быть спроектированы так, чтобы справляться с перебоями в соединениях или оптоволоконном кабеле, а также с отказами оборудования.

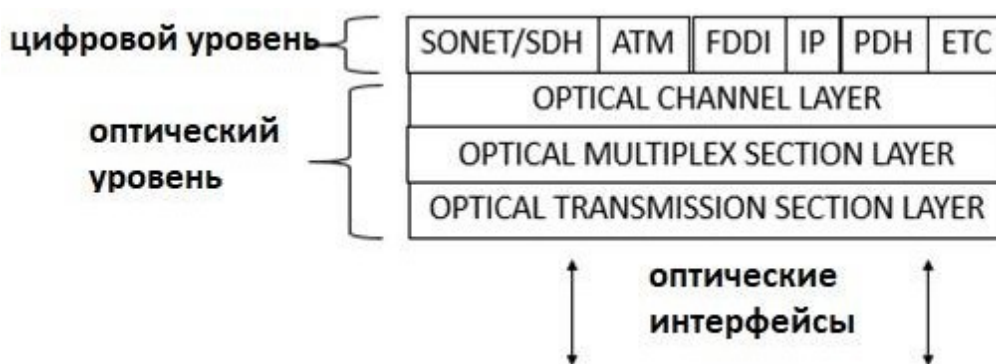


Рисунок 1.4- Уровни сети

Сеть может рассматриваться как состоящая из множества уровней, взаимодействующих друг с другом, как показано на рисунке 1.4. Разные операторы выбирают разные способы реализации своих сетей, используя разные комбинации многоуровневых стратегий. Действующие операторы связи используют свою большую установленную базу SDH-оборудования и широкие возможности по обработке и контролю цифровых кроссовых соединений.

В отличие от этого, оператор, предлагающий услуги на основе Интернет-протокола (IP), стремится иметь упрощенную сетевую инфраструктуру, использующую IP в качестве базового транспортного уровня без использования SDH. Операторы, отличающиеся по качеству (и разнообразию) услуг (QoS), могут использовать ATM в качестве своей транспортной технологии. Под этими слоями находится возникающий оптический слой DWDM или оптический слой.

Оптический уровень обеспечивает пути света к более высоким уровням, которые могут рассматриваться как клиентские уровни, которые используют услугу, предоставляемую оптическим уровнем. Световые пути представляют собой каналы с коммутацией каналов, по которым передается трафик с довольно высокими скоростями передачи (например, 2,5 Гбит / с или 10 Гбит / с). Эти световые тракты обычно устанавливаются для соединения оборудования клиентского уровня, такого как ADH SDH, IP-маршрутизаторы или коммутаторы ATM. Как только они настроены, они остаются довольно статичными с течением времени.

Оптический слой состоит из оптических линейных терминалов (OLT), оптических ADM (OADM) и оптических перекрестных соединений (OXC), как показано на следующем рисунке. OLT объединяет несколько каналов в одну пару волокон. OADM отбрасывают и добавляют небольшое количество каналов из / в совокупный поток DWDM. OXC переключает и управляет большим количеством каналов в узле с высокой интенсивностью трафика.

Мы рассматриваем защиту оптического уровня с точки зрения услуг с точки зрения типов услуг, которые должны быть предоставлены оптическим уровнем более высокому уровню. Затем мы сравниваем различные схемы защиты оптического уровня, которые были предложены с точки зрения их стоимости и эффективности использования полосы пропускания на основе набора услуг, который должен поддерживаться. Это несколько отличается, так как защита оптического уровня имеет тенденцию рассматривать как защиту уровня SDH [5].

1.4 Уплотненный DWDM (DDWDM) и его топологии

Для передачи оптических сигналов на большое расстояние (> 100 км) необходимы волоконно-оптические усилители, чтобы компенсировать потери оптического волокна. Поскольку ширина полосы пропускания волоконно-оптического усилителя довольно ограничена, необходим узкий интервал длин волн, чтобы поместить большое количество каналов в полосу усиления.

Технология плотного DWDM (DDWDM) была разработана для систем

передачи на большие расстояния, полностью используя полосу усиления волоконного усилителя на основе эрбия (EDFA). EDFA имеет оптическое усиление в C-диапазоне и L-диапазоне, и, например, в общей сложности 115 каналов длины волны передаются в одном волокне с разносом частот 100 ГГц (~ 0,8 нм), как показано на рисунке 1.5. Несколько различных частот DDWDM определены в МСЭ-T G.694.1, и соответствующий интервал выбирается в зависимости от требований системы (общая пропускная способность, скорость передачи в битах на канал, расстояние и т. д.).

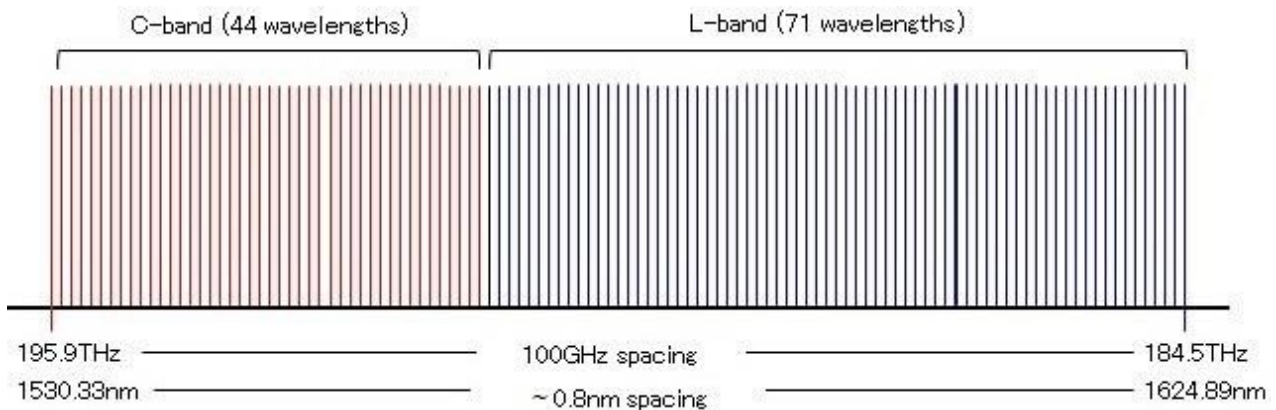


Рисунок 1.5 - Разнесение каналов диапазонов C-band и L-band

Чтобы описать некоторые аспекты сложности системы DDWDM, мы должны уточнить некоторые ключевые топологии сети. Наиболее известными топологиями являются точка-точка, кольцо (одиночное и двойное), полностью связанная сетка и звезда. Кроме того, существуют такие подтопологии, как лестница и точка-точка с надстройкой.

Производительность каждой топологии сети зависит от многих факторов. Среди них: количество узлов, эластичность, бесшовная эволюция, максимальная пропускная способность, способность восстановления услуг, отказоустойчивость, аспекты транспортируемого трафика в реальном времени, универсальность поддерживаемых типов трафика, надежность, эффективность управления пропускной способностью, количество волоконно-оптических линий связи между узлами, ремонтпригодность, реконфигурируемость, масштабируемость, экономика, тенденции и рыночные предпочтения и так далее. Кольцевая топология в настоящее время может быть предпочтительной только из-за знакомства с уже встроенной кольцевой сетью SONET / SDH и сеточной (полностью подключенной) топологии из-за превосходной живучести.

Кроме того, существуют топологии гибридных сетей, которые могут состоять из звезд и / или колец, которые связаны между собой двухточечными линиями связи. Например, проект Metropolitan Optical Network (MONET) - это сеть DWDM, разработанная и финансируемая рядом частных компаний и государственными учреждениями США. Он состоит из двух подсетей, одна из которых расположена в Нью-Джерси, а другая в районе Вашингтона, округ Колумбия / Мэриленда; они

связаны между собой оптической линией связи между двумя пунктами.

Точка-точка (point-to-point). Point-to-point топология преимущественно используется для дальних перевозок, требующих сверхвысокой скорости (10-40 Гбит / с), сверхвысокой совокупной полосы пропускания (порядка нескольких терабит в секунду), высокой целостности сигнала, высокой надежности и быстрого восстановления пути. Расстояние между передатчиком и приемником может составлять несколько сотен километров, а число усилителей между двумя конечными точками обычно меньше 10 (как определяется потерей мощности и искажением сигнала). Точка-точка с мультиплексированием с добавлением и удалением позволяет системе отбрасывать и добавлять каналы по своему пути. Количество каналов, разнос каналов, тип волокна, метод модуляции сигнала и выбор типа компонента являются важными параметрами при расчете бюджета мощности.

В DDWDM каждый канал передается на определенной длине волны, также известной как «оптический канал». Разные каналы могут переносить разные данные (например, речь, данные, видео, пакеты данных) с разными скоростями передачи. Оптическая линия передатчик-приемник имеет несколько оптических компонентов: оптоволокно, оптические усилители, OADM, оптические фильтры, ответвители, лазерные источники, модуляторы и приемники. Каждый из них имеет свою собственную характеристику, влияющую на сигнал. Сквозное упрощенное представление системы точка-точка DDWDM, которая включает в себя лазеры, оптический мультиплексор и демultipлексор, оптоволокно, оптические усилители (OA) и оптический мультиплексор с добавлением-падением, показано на рисунке 1.6 [6].

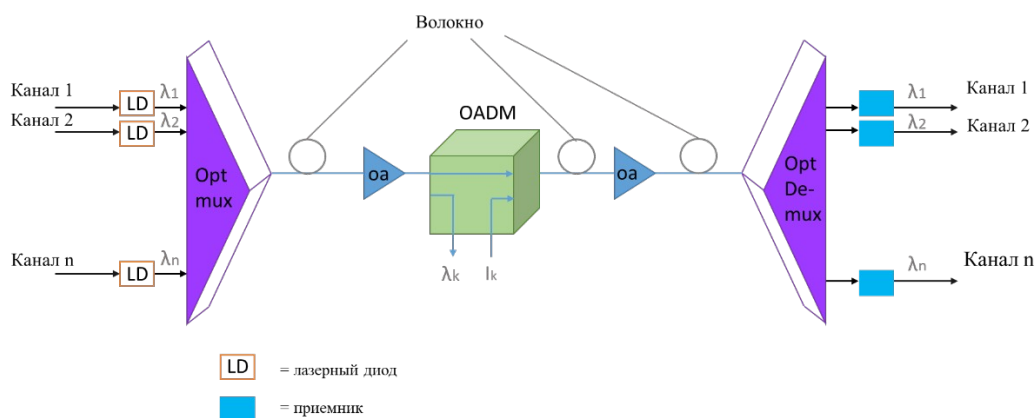


Рисунок 1.6 - DWDM точка-точка

1.4.1. Топология «кольцо» и «звезда». В общем случае кольцевая сеть DWDM состоит из волокна в кольцевой конфигурации, которое полностью соединяет узлы; некоторые системы имеют два оптоволоконных кольца для защиты сети. Такое кольцо может охватывать местную или столичную территорию и охватывать несколько десятков километров. Волоконно-оптическое кольцо может содержать несколько каналов со многими длинами волн и несколько узлов.

Скорость передачи данных на канал длины волны может составлять 622 Мбит / с или ниже или 1,25 Гбит / с или выше. Один из узлов в кольце является станцией-концентратором, где все длины волн поставляются, завершаются и управляются; связь с другими сетями осуществляется на этой центральной станции. Каждый узел и концентратор имеют оптические мультиплексоры добавления-отбрасывания (OADM) для удаления и добавления одного или нескольких назначенных каналов длины волны.

В кольцевых сетях DWDM станция-концентратор может отправлять и завершать трафик нескольких типов (например, IP синхронного транспортного модуля (STM), видео). Концентратор управляет всеми каналами (длинами волн), назначенными путями между узлами, а также типом трафика. В OADM одна (или более) оптическая частота сбрасывается и добавляется, тогда как остальные частоты проходят прозрачно. Однако по мере увеличения количества OADM сигнал подвергается потерям, и может потребоваться оптическое усиление. Количество узлов обычно меньше, чем количество длин волн в волокне. На рисунке 1.7 изображена базовая конфигурация.

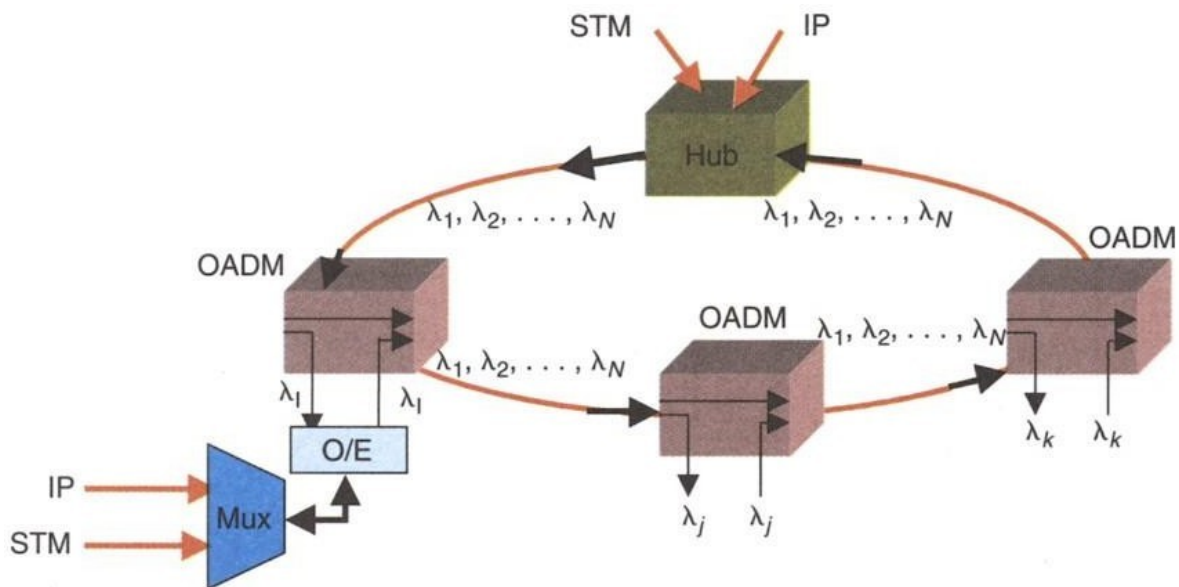


Рисунок 1.7 - Топология «кольцо» DWDM

В кольцевой топологии станция-концентратор управляет назначением канала (длины волны), так что выполняется полностью подключенная сеть узлов с OADM. Концентратор также может обеспечивать связь с другими сетями. Кроме того, узел OADM может быть соединен с мультиплексором / демультиплексором, где мультиплексируются несколько источников данных. Простая кольцевая топология с концентратором и двумя узлами А и В, связанными через длину волны λ_k , показана на рисунке 1.8, где узел А также мультиплексирует несколько источников данных. Однако все источники данных завершаются соответствующим узлом OADM (узлом В), поскольку они находятся на одном канале (и на одной и той же длине волны).

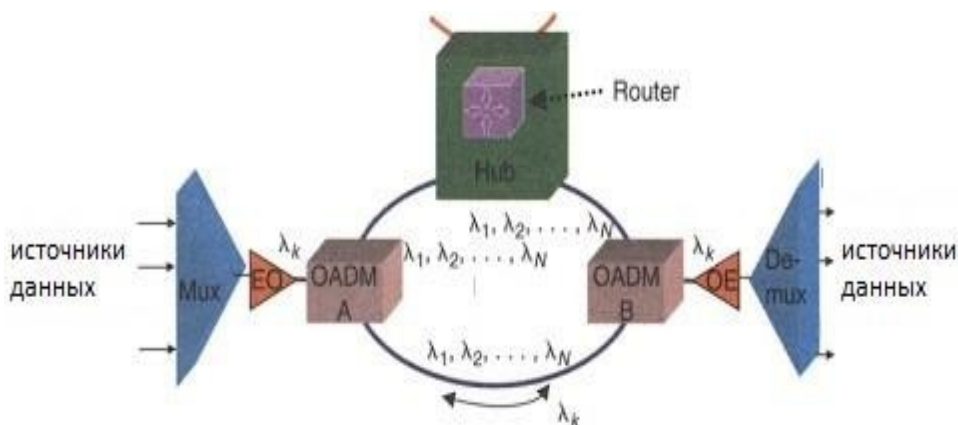


Рисунок 1.8 - Топология «кольцо» с двумя узлами

Как правило, контрольный канал передает данные о производительности, управлении, обеспечении, обслуживании и администрировании в каждый узел и из него. Здесь описаны четыре стратегии супервизорных каналов: адресуемые пакеты, общие пакеты, каналные пакеты и гибридные пакеты.

В адресуемых пакетах контрольные данные отображаются в пакет, адресованный узлу в кольце. Узлы считывают адрес назначения в каждом входящем пакете. Узел, который адресован, завершает его и отправляет новый пакет, который добавляется в кольцо. Пакеты, не адресованные узлу, не прекращаются; они мультиплексируются в основной поток DWDM, направляясь к следующему узлу.

В общих пакетах пакет был разделен на разделы, и каждый раздел соответствует только узлу. Таким образом, каждый узел завершает свою собственную секцию, буферизует другие секции без изменений, переписывает свою собственную секцию и повторно отправляет полный пакет на следующий узел. Таким образом, все узлы могут быть адресованы одновременно с одинаковым пакетом, минимизирующим задержку.

В случае с каналом каждый узел имеет свой собственный выделенный контрольный канал (длина волны); длина волны отбрасывается, завершается, получает источники и мультиплексируется в основном потоке DWDM. Это самый быстрый способ связи с узлом, но он использует спектральные ресурсы (длину волны) для каждого узла. Тем не менее, это может быть применимо в высокопроизводительных системах, где очень важны контрольные данные в реальном времени с высокой скоростью.

В гибридном случае это могут быть любые два из вышеперечисленных способов вместе взятых. Например, он может быть адресуемым и совместно используемым, адресуемым и канализированным, или совместно используемым и канализированным.

Какая из предшествующих контрольных стратегий является наиболее подходящей, зависит от типа поддерживаемых услуг, параметров производительности сети, эффективности протокола, сложности узла и экономики.

Особый случай физического кольца — это топология полностью связанной сетки или топология звезды (рисунок 1.9). Эти случаи приводят к различным надзорным

стратегиям.

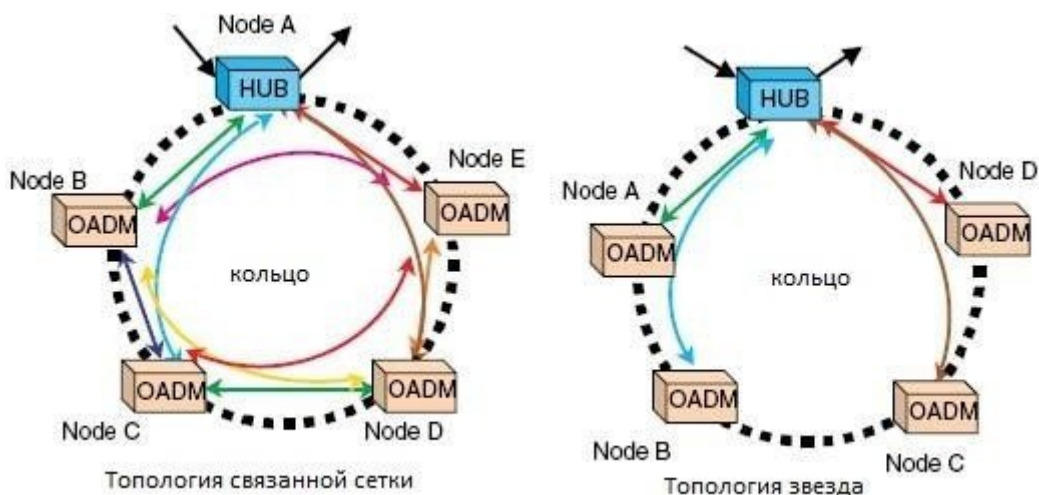


Рисунок 1.9 - Топология связанной сетки и звезда

Мы сделали ссылку на узлы на основе терминологии, которая происходит от традиционных сетей связи. В сетях передачи данных термин «узел» заменяется термином «маршрутизатор». Для простоты действительно не имеет значения, какой термин используется, так как современные сети DDWDM транспортируют смесь трафика, TDM (DSn, SONET / SDH), ATM и IP, благодаря конвергенции, прозрачности обслуживания и развивающейся сети. В приложениях DDWDM - маршрутизатор, который обеспечивает подключение по IP; выполняет очистку DSn или ОС-п, оптическое мультиплексирование и оптическое перекрестное соединение; и обеспечивает качество обслуживания в реальном времени (QoS) начинает выглядеть как традиционный узел. Точно так же традиционный узел, обеспечивающий пакетоподобное соединение с приоритетом, основанным на доступности полосы пропускания и соглашениях об уровне обслуживания (SLA), начинает выглядеть как традиционный маршрутизатор. Поэтому, хотя узлы и маршрутизаторы могут концептуально различаться, мы не различаем их [7].

Недостатки сети DDWDM

Сети DDWDM должны иметь возможность обнаруживать неисправности в линии или в кольце (разорванное волокно, неисправный порт, неработающий узел) и изолировать неисправность. Цель состоит в том, чтобы предлагать непрерывную передачу (обслуживание) или обслуживание с минимально возможным нарушением, как рекомендовано в стандартах. В зависимости от топологии и архитектуры сети предотвращение сбоев может быть достигнуто с помощью двойных встречных колец (в кольцевых сетях), аналогично оптоволоконному интерфейсу данных (FOOL). Когда в архитектуре встречного кольца обнаруживается сбой, соседние OADM избегают сбоя путем перенаправления трафика через оптическое перекрестное соединение с поворотом L1. Когда система восстанавливается после неисправности

или неисправность устранена, кольцевая сеть возвращается в свое нормальное (до возникновения неисправности) состояние.

Аналогично, в топологии «точка-точка» обнаруженные ошибки будут запускать процедуру, которая либо находит альтернативный путь, либо вызывает аварийные сигналы. В архитектуре ячеек сбой инициируют другую процедуру выбора пути, которая обходит сбой. Один из нерешенных вопросов, на которые должны ответить сетевые архитекторы: «Когда неисправность восстанавливается или исправляется, возвращается ли сеть в предыдущее состояние или продолжается до тех пор, пока не будет обнаружена другая неисправность»

Следует отметить, что для предотвращения сбоев требуются сложные устройства оптического кросс-коммутации, которые накладывают дополнительную нагрузку на бюджет мощности и затрат кольцевой сети. Таким образом, нагрузка на защитное кольцо должна быть тщательно оценена в свете конкретного применения.

DDWDM- самая подходящая технология, для повышения емкости современной системы.

2 РАСЧЕТНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Расчет длины регенерационного участка с учетом хроматической дисперсии

Выполним расчет длины регенерационного участка с учетом хроматической дисперсии

В таблице 2.1 приведены основные параметры оптических спецификаций для стандартов STM-16 и STM-64. Как видно, система STM-64 предъявляет более высокие требования к соотношению сигнал/шум, превышая на 5-10 дБ этот параметр для STM-16, что ведет к меньшему допустимому числу усилителей EDFA между регенераторами STM-64.

Таблица 2.1 - Основные параметры оптических спецификаций стандартов STM-16 и STM-64

Параметры	STM-16 (2,5 Гбит/с)	STM-64 (10 Гбит/с)
Минимальное отношение сигнал/шум, дБ	18-21	27-31
Допустимая дисперсия в кабельной системе, пс/нм	10500	1600
Ограничения из-за PMD	Нет	< 400 км

Рассчитаем длину регенерационного участка, ограниченного хроматической дисперсией для стандарта STM-16. Для волокон SF и NZDSF возьмем значения удельной дисперсии 20 и 5,5 пс/(нм*км) соответственно. Отсюда получаем формулу (2.1)

$$L_{\text{дисп}} = \phi / D, \quad (2.1)$$

где ϕ - допустимая дисперсия в кабельной системе, пс/нм, D - значения удельной дисперсии пс/(нм*км) для SF волокна

$$L_{\text{дисп}} = 10500 / 20 = 525 \text{ (км)}, \text{ для NZDSF волокна}$$

$$L_{\text{дисп}} = 10500 / 5.5 = 1909 \text{ (км)}.$$

Рассчитаем длину регенерационного участка, ограниченного хроматической дисперсией для стандарта STM-64. Для SF волокна

$$L_{\text{дисп}} = 1600 / 20 = 80 \text{ (км)}, \text{ для NZDSF волокна}$$

$$L_{\text{дисп}} = 1600 / 5.5 = 290 \text{ (км)}.$$

Хроматическая дисперсия. STM-16 допускает значительно большую дисперсию сигнала в линии (см. таблицу 2.1), чем STM-64, что дает выигрыш как в протяженности сегментов между последовательными оптическими усилителями, так и в общей протяженности линии между регенераторами. Благодаря линейности хроматической дисперсии можно добиться значительного увеличения длин, указанных в таблице, используя вставки фрагментов ВОК на основе волокна с компенсирующей дисперсией в таблице 2.2.

Таблица 2.2 - Ограничение общей протяженности из-за влияния хроматической дисперсии

Тип волокна	STM-16	STM-64
Стандартное одномодовое волокно SF, км	525	80
Одномодовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией, км	1909	290

Как видно из расчетов, хроматическая дисперсия не является ограничением на модернизируемом участке сети при использовании стандартного одномодового волокна SF, так как протяженность пролетов между узлами намного меньше, чем максимальная длина участка ВОЛС, ограниченного хроматической дисперсией для скоростей порядка 2,5 Гбит/с.

2.2 Расчет длины регенерационного участка с учетом поляризационно-модовой дисперсии (PMD)

Проведем оценку влияния PMD на передачу каналов STM-16 и STM-64. В рамках промышленных требований PMD не должна превышать 1/10 битового интервала. Отсюда значения накопленной поляризационной модовой дисперсии не должны превышать 40 пс и 10 пс для линий STM-16 и STM-64 соответственно. Величина PMD по прохождению светом длины L определяется по формуле

$$\phi = T \cdot L^{1/2} \quad (2.2)$$

где T - удельная поляризационная модовая дисперсия. При T= 0,5 пс/км^{1/2} (для волокон NZDSF - TrueWave™ и SMF-LS™, см. табл. 2.2) получаем для линий STM-16 и STM-64 предельные протяженности между регенераторами - формула (2.2) [8].

Для линии STM-16

$$L = \phi^2 / T^2 = 402 / 0.52 = 6400 \text{ (км)},$$

для линии STM-64

$$L = 102 / 0.52 = 400 \text{ (км)}.$$

Первое ограничение так велико, что дело до него не доходит. Заметим, что в отличие от хроматической дисперсии, поляризационная модовая дисперсия не компенсируется. Поэтому уменьшить этот параметр можно только используя новые волокна, например NZDSF - LEAF™, для которого

$$T < 0,08 \text{ пс/км}^{1/2} \quad (2.3)$$

В нашем случае PMD для стандарта STM-16 (2,5Гбит/с) не является ограничением для системы, влияние PMD необходимо будет учитывать при проектировании линий связи начиная со скорости 10 Гбит и выше (что возможно при расширении системы в будущем).

Хотя волокно обеспечивает огромную полосу пропускания, каналы доступа обычно рассчитаны на меньшую скорость. Терминалы STM-64 разработаны для создания стержневых магистралей и допускают подключение менее скоростных потоков синхронной цифровой иерархии только двух типов: STM-4 и STM-16. В случае необходимости организации доступа по менее скоростным каналам, например на основе STM-1 или на основе трибных интерфейсов плезиохронной иерархии E1, E2, E3 и т. д., наряду с терминалом STM-64 потребуется дополнительный отдельный сетевой элемент, который будет связываться с терминалом STM-64 по каналу STM-4 или STM-16. В то же время сетевые элементы на каналы STM-16 и более низкие допускают реализацию прямого доступа.

Таблица 2.3 Допустимые низкоскоростные интерфейсы для терминалов STM-16 и STM-64

Интерфейсы	STM-16	STM-64 (9953,280 Мбит/с)
Возможность ввода/вывода каналов	Да	Нет
STM-16 (2488,320 Мбит/с)	-	Да
STM-4 (622,488 Мбит/с)	Да	Да
STM-1 (155,520 Мбит/с)	Да	Нет
E3 (34,368 Мбит/с)	Да	Нет
E1 (2,048 Мбит/с)	Да	Нет

2.3 Расчет длины участка по затуханию

Ресурсы транспортной оптической сети подразделяются на следующие:

- ресурсы волоконных свет оводов (после от 30 до 60ТГц);
- ресурсы DWDM-число волокна каналов (от 1 до 320 и более);
- емкости волновых каналов OTN(от ODU1 до ODU 3)

- емкости сцепляемых волновых каналов и пределах модуля оптической передачи OTM (от 1 до 16 волн в модуле и нагрузки от ODU1 до ODU3)
- емкости виртуальных контейнеров SDH (индивидуальных и сцепляемых);
- емкости потоков ячеек ATM и кадров Ethernet;
- возможности перспективных решений на основе новой технологии T-MPLS и т.д

В оптических транспортных платформах, таких как Alcatel 1850 TSS (TSS-40, TSS-320, со скоростями передачи 40 Гбит/с, 320 Гбит/с), Cisco ONS 15450 MSTP, Marconi OMS-3200, Alcatel 1674 и другие, сочетается коммутации (уровень каналов L2), маршрутизации (уровень L3), управления и синхронизации.

Новое поколение транспортных платформ является универсальным техническим решением между сетями пользователей (вторичными сетями) и транспортными сетями (первичными сетями)

Пример расчет для интерфейса V-64.3 Исходные данные

- $P_s=13$ дБм;
- $P_R=-24$ дБм;
- $P_D=2$ дБк;
- $M_e=3$ дБ;
- $l_{ст}=0,05$ дБ;
- $l_{стр}=0,1$ дБ;
- $a=0,2$ дБ/км $a=0.2$ дБ/км; $am=0,05$ дБ/км; строительная длина кабеля-6км

$$L_{пу} = \frac{13+24-2-3}{0,2+0,5} = 130(\text{км}) \quad (2.4)$$

Число строительных длин на участке 130 км составит $M=130/6=21$. С учетом потерь на стыках длина участка передачи составит

$$L_{пу} = \frac{13+23-2-3 \cdot 0,05+4 \cdot 0,1}{0,2+0,05} = 124,2(\text{км}). \quad (2.5)$$

Таким образом, длина участка составит 126,2 км с учетом допустимых потерь оптической мощности. На длине волны 1550 нм величина дисперсии не должна превышать 2400 пс/нм. Для одномодового волокна в соответствии с G.652 на волне 1550нм значение хроматической дисперсии на 1 км составляет 18 пс/нм*км, а на длине 126,2км

$$D_{хр}=18 \cdot 124,2=2269.14 (\text{пс/нм}) \quad (2.6)$$

Таким образом норматив на хроматическую дисперсию выполняется при ширине спектральной линии источника излучение (лазер типа DFB) 1 нм. Однако на скорости передачи 10 Гбит/с необходимо учитывать и поляризационную модовую

дисперсию (ПМД)

$$D_{\text{пмд}} = \sigma_{\text{пдм}} * \sqrt{L_{\text{пу}}}, \quad (2.7)$$

Где нормировано по отношению к длине волокна 0,5 пс/км^{1/2}. В этом случае необходимо добавить к $D_{\text{хр}}$, величина $D_{\text{пмд}}$, которая вычисляется

$$D_{\text{пмд}} = 0,5\sqrt{124,2} = 5,616 \text{ пс}, \quad (2.8)$$

Результирующая дисперсия определяется через соотношение

$$\sqrt{D_{\text{хр}}} + \sqrt{D_{\text{пмд}}}, \text{ т. е. } D_{\Sigma} = (2269,14 + 5,616)0,5 = 2271,607 \quad (2.9)$$

Нетрудно заметить, что совокупная величина хроматической и поляризационной дисперсии не превосходит нормативное значение дисперсии для интерфейса V-64.3.

Другой подход: определить требуемое значение дисперсии на 1км линии и сравнить с нормированным стандартом значением:

$$2400 \frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} / 126,2 \text{ км} = 19,1 \left(\frac{\text{пс}}{\text{нм} \cdot \text{км}} \right) \quad (2.10)$$

Таким образом допустим допустимый норматив 19,1 пс/нм км превышает нормированный, что указывает на допустимость использование интерфейса V-64-3 на участке длиной 126,2 км. По величине полученной километрической дисперсии можно выбрать:

- соответствующий тип волокна;
 - длину волны передатчика в диапазоне 1547...1562 нм;
 - ширина спектральной линии передатчика измеряемую в долях нм, например 0,2;
 - соответствующий компенсатор дисперсии при необходимости.
- Современные оптической интерфейсы, например, U-64.3 10GBASE-EW, могут выполнять с функциями упреждающей коррекции ошибок (FEC). Это дополнительно повышает энергетический потенциал системы передачи на 3...8 дБм. \Учет FEC при проектировании позволит гибко определить длину участка передачи и разместить промежуточные станции в подходящих местах, населенных пунктах[10].

2.4 Выбор уровня системы передачи

При проектировании волоконно-оптических линий связи предполагается

использование цифровых систем передачи синхронной цифровой иерархии SDH.

Передача цифровой информации в таких ЦСП производится блочными циклическими структурами, следующими с периодом повторения 125 мкс и называемыми транспортными модулями STM. Транспортные модули подразделяются по уровням, т.е. по скорости передачи цифровой информации и, соответственно, по количеству передаваемых каналов (таблице 2.4).

Различают пять уровней транспортных модулей SDH. [6]

Таблица 2.4 - Уровни транспортных модулей SDH

Уровень транспортного модуля SDH	Транспортный модуль	Скорость передачи, Мбит/с	Количество телефонных каналов
Первый уровень	SDH STM-1	155,52	1890
Второй уровень	SDH STM-4	622,08	7560
Третий уровень	SDH STM-16	2488,32	30240
Четвертый уровень	SDH STM-64	9953,28	120960
Пятый уровень	SDH STM-256	39813,12	483840

Исходя из уровня проектируемой сети, выбирается соответствующий транспортный модуль, обеспечивающий передачу необходимого числа каналов.

Передача и прием оптических, сформированных в виде транспортных модулей, ведутся по двум оптическим волокнам и осуществляются на одной длине волны λ (двухволоконная, однополосная, однокабельная система организации связи).

Одним из основных преимуществ технологии SDH является возможность такой организации сети, при которой достигается не только высокая надежность ее функционирования, обусловленная использованием ВОК, но и возможность сохранения или восстановления (за 50 мс) работоспособности сети даже в случае отказа одного из ее элементов или среды передачи – кабеля. Существуют различные методы обеспечения быстрого восстановления работоспособности сети SDH, одним из которых является резервирование участков сети по схемам 1+1 и 1:1, т.е. использование резервных волокон, или четырехволоконная схема организации связи.

Исходя из общего числа ОЦК, мы выбираю второй уровень синхронного транспортного модуля (STM-64) и одномодовый оптический кабель с четырьмя оптическими волокнами

3 Выбор оборудования

В этом разделе рассматриваются общие принципы прокладки оптической магистрали и особенности прокладки ВОЛС между городами Алматы–Жаркент 301 км (см. рисунок.3.1).

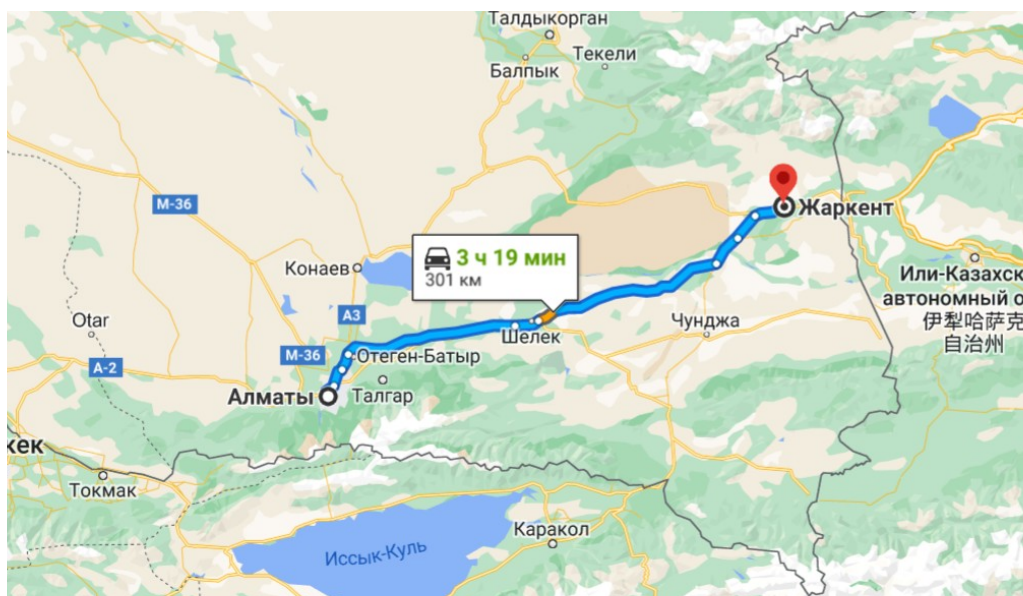


Рисунок. 3.1 - Карта Алматы -Жаркент.

Алматы и Жаркент соединены между собой автодорогой. При выборе способа строительства необходимо учитывать основные требования: минимальные затраты на строительство, минимальные затраты на эксплуатацию, иные расходы, удобство обслуживания. Опыт строительства ВОЛС выявил ряд существенных отличий в организации, технологии проведения линейных и монтажных работ по сравнению с работами на традиционных электрических кабелях связи.[7]

3.1 Интеллектуальная оптическая транспортная платформа OptiX

Интеллектуальная оптическая транспортная платформа OptiX OSN 6800 (OptiX OSN 6800 для короткой передачи) называется интеллектуальная оптическая транспортная платформа Huawei следующего поколения.

OptiX OSN 6800 предназначен для локальных сетей, локальных сетей, столичных слоев конвергенции и столичных слоев ядра.

OptiX OSN 6800 использует технологии мультиплексирования с плотным разделением длины волны (DWDM) или мультиплексирования с грубой длиной волны (CWDM) для достижения прозрачной передачи с несколькими службами и большой емкостью.

OptiX OSN 6800 поддерживает следующие сетевые режимы:

- сеть точка-точка;
- цепь сети;
- кольцевой сети;
- ячеистой сети.

Он может также работать с другими WDM, SDH/SONET оборудованием, чтобы предложить полное метро WDM решение.

OptiX OSN 6800 поддерживает 40 Гбит/с и 100 Гбит/с линейные скорости и 360 Гбит/с кросс-соединение емкости. Он отличается энергосбережением, высокой надежностью и эксплуатацией.

Самая высокая емкость перекрестного соединения с гибким обслуживанием большой емкости:

- Имеет высокую емкость поперечного соединения. Одиночный subrack поддерживает максимум 360 Гбит/с кросс-подключения емкости, реализует обслуживание большой емкости. Для роуминга с большой емкостью требуется только один, что снижает энергопотребление и уменьшает площадь пола.

- Поддерживает многогранулированное перекрестное соединение OTN, то есть, перекрестное соединение ODUk, где k может быть 1, 2 или 2e.

Большая пропускная способность с гибкой архитектурой высокой плотности:

- поддерживает гибридную передачу сигналов 10 Гбит/с, 40 Гбит/с и 100 Гбит/с и поддерживает плавное обновление от сети низкого уровня до сети высокого уровня.

- поддержка модуляции ePDM-QPSK для сигналов 100 Гбит/с, не требующих дисперсионных компенсационных модулей (DCMs) и упрощения сетевых конфигураций. Расширенный возврат к нулю (RZ), коррекция ошибок вперед (FEC) и алгоритмы обработки цифрового сигнала (DSP) реализуют сверхдальнюю передачу сигналов 100 Гбит/с, который увеличивает коэффициент оптического сигнала к шуму (OSNR)

- удовлетворяет требования к широкополосной передаче с использованием 40 Гбит/с и 100 Гбит/с линейных скоростей. Обеспечивает самую высокую степень интеграции в отрасли и поддерживает емкость 100 Гбит/с.

Уровень 1 надежность и массовая передача данных с оптимальной архитектурой:

- обеспечивает несколько схем защиты сетевого уровня и интеллектуальное управление сетью, основанное на автоматическом переключении оптической сети (ASON) /генерализованных многопротокольных технологий коммутации по меткам (GMPLS) для защиты всех волокон и услуг.

- обеспечивает защиту устройств питания, вентиляторов, досок управления связью и распределительного пула.

3.1.1 Отн характеристика. Технология оптической транспортной сети (OTN) обеспечивает гибкое перекрестное соединение обслуживания в сквозной манере и позволяет сервисам различных типов совместно использовать пропускную способность. Благодаря многочисленным накладкам OTN и простым операциям на NMS пользователи могут легко поддерживать сети и находить неисправности.

- Отн кросс-соединение.

С помощью перекрестных соединений OTN любой гранулярный трафик может быть объединен в любую трубу ODUk, и различные виды услуг с нескольких сайтов могут быть смешаны в одной трубе ODUk. Это обеспечивает гибкое обслуживание и улучшает использование полосы пропускания.

- E2E управление обслуживанием на основе накладных расходов OTN. С помощью множества накладных расходов OTN, определенных в ITU-

Т г. 708, а также простых операций на NMS, услуги могут управляться и контролироваться в сквозной манере.

С помощью накладных расходов OTN сеть OTN может прозрачно передавать клиентские услуги и обеспечивать мощные возможности для корректировки ошибок вперед (FEC). Накладные расходы и NMS вместе обеспечивают легкий сквозной мониторинг и управление обслуживанием. Они могут легко найти неисправность.

Мониторинг каналов по различным операторским сетям. Когда сети различных операторов соединены между собой, накладные расходы OTN на уровне мониторинга тандемного соединения (TCM) могут использоваться для мониторинга качества каналов, которые предоставляют различные операторы. Функция ODUk TCM позволяет легко найти неисправности.

3.2.2 Поддерживаемые модели обслуживания Ethernet. Согласно ITU-T, услуги Ethernet уровня 2 разделены на четыре типа: Ethernet частная линия (EPL), Ethernet Виртуальная частная линия (EVPL), Ethernet частная LAN (EPLAN), и Виртуальная локальная сеть Ethernet (EVPLAN).

Серия продуктов OptiX OTN поддерживает передачу услуг EPL/EVPL или EPLAN/EVPLAN между штаб-квартирой (HQ) компании и ее филиалами через коммутационную сеть уровня 2

3.2.3 Уплотнителя канала связи с грубым спектральным уплотнением, многоканальной связью, функция. OptiX OSN 6800 обеспечивает 8-длина волны лазера уплотнителя канала связи с грубым спектральным уплотнением, многоканальной связью передачи данных с каналом расстояние 20nm в диапазон к, которые должны соответствовать ITU-T G.694.2, и может переносить 2,5 Гбит/с или 5 Гбит/с услуги по одной длине волны.

3.2.3 Применение. Системы CWDM не имеют платы OA. Они используют фиксированные оптические платы мультиплексора для добавления в мультиплексные одноволновые сигналы от плат OTU и отправляют мультиплексированную длину волны в линию для передачи.

Структурная схема оборудования системы OptiX OSN 8800 при мультиплексировании до 40 длин волн представлена на (рисунке 3.3).

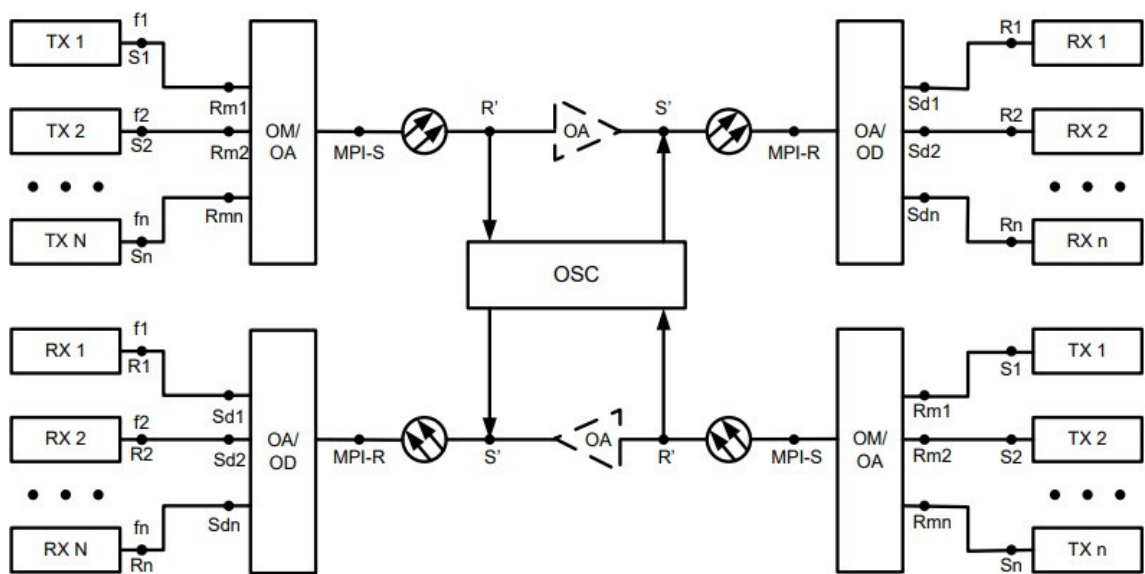


Рисунок 3.3 – Структурная схема оборудования системы OptiX OSN 6800 при использовании C – диапазона

На рисунке 3.3 приняты следующие обозначения:

- TX – передающий транспондер;
- RX1 – приёмный транспондер;
- OM/OA – блок оптического мультиплексирования/оптического усиления;
- OA/OD – блок предварительного оптического усиления/оптического демultipлексирования;
- OA – оптический линейный усилитель;
- OSC – оптический служебный канал;
- S1...Sn – эталонные точки на ОВ у выходных оптических разъёмов (ОР) передатчиков для каналов 1...n;
- Rm1...Rmn – эталонные точки на ОВ непосредственно перед входным ОР блока оптического мультиплексирования/оптического усиления для каналов 1...n;
- MPI-S (интерфейс основного тракта в точке передатчика) – эталонная точка на ОВ сразу за выходным ОР блока OM/OA;
- S' – эталонная точка сразу за выходным ОР линейного оптического усилителя;
- R' – эталонная непосредственно перед входным ОР линейного оптического усилителя;
- MPI-R (интерфейс основного тракта в точке приёмника) – эталонная точка на ОВ непосредственно перед входным ОР блока OA/OD;
- Sd1...Sdn – эталонные точки у выходных ОР блока OA/OD для каналов 1...n;
- R1...Rn – эталонные точки у входных ОР приёмников для каналов 1...n, соответственно.

Оптический мультиплексор ввода/вывода, представленный на (рисунке 3.4) используется для ввода/вывода до 16 каналов из основного тракта путем каскадирования плат MR2 (используется как OADM и каждая плата способна обрабатывать до 2-х каналов услуг уровня STM – 64), остальные каналы (транзитные) претерпевая усиление проходят через станцию, выполняя функции оптического усиления и функции ввода/вывода, может осуществлять уравнивание мощности для вновь добавленных каналов и других каналов в линии, с целью обеспечить уравнивание мощности разных каналов в основном потоке. Состоит из следующих функциональных элементов: блок оптического усиления (OAU и OBU/OBU и OBU), блока оптического мультиплексора с функцией вставки/выделения (MR2), блоков компенсации дисперсии (DCM), блоков оптического транспондера (OTU), блоков оптического интерфейса (FIU), каналов управления (SC2/TC2), блок связи и управления (SCC).[8]

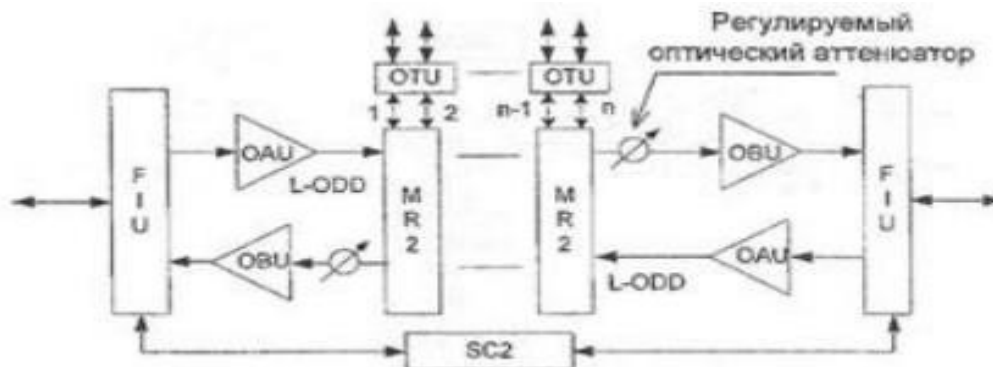


Рисунок 3.4 – Структурная схема OADM

Оборудование оптического линейного усилителя, представленное на (рисунке 3.5), устанавливается на усилительном пункте, применяется для усиления слабого оптического сигнала в сети.

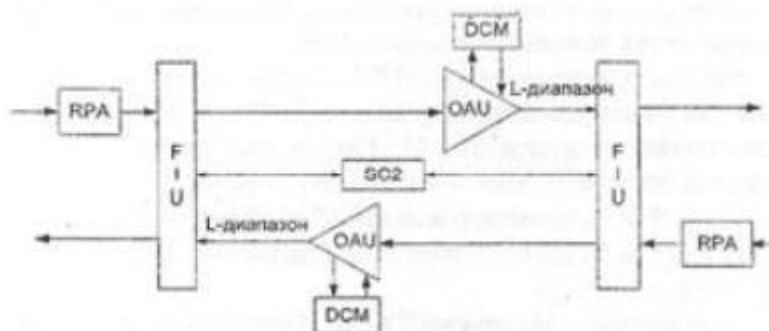


Рисунок 3.5 – Оптический линейный усилитель

Оборудование оптического линейного усилителя (OLA) увеличивает расстояние передачи оптических сигналов DWDM. За счет усиления оптического сигнала, компенсации дисперсии и передачи канала управления данное оборудование помогает достичь магистральных сетей передачи. Обычно используются усилители EDFA 23 дБ, 28 дБ и 33 дБ.

OLA состоит из следующих основных компонентов.

- блок оптического усилителя (OAU/OBU, Optical amplifier unit);
- блок интерфейса оптического волокна (FIU, Fiber interface unit); □ блок двунаправленного оптического контрольного канала (SC2) / блок двунаправленного оптического контрольного канала и передачи синхронизации (TC2);
- модуль компенсации дисперсии (DCM, Dispersion compensation module).

Частотный план каналов 40 – канальной системы приведен в (таблице 3.1), все частоты выделены из C – диапазона, с частотным разнесением 50ГГц.

Проектируемая внутризоновая ВОЛП строится по топологии «точка – точка». Система OptiX OSN 6800 будет использована в качестве терминальных оптических мультиплексоров OTM, оптических линейных усилителей OLA и мультиплексоров ввода/вывода OADM в промежуточных пунктах.

3.2 Выбор магистрального кабеля

Выбор кабеля и тип его прокладки всегда совпадает с учетом характера местности и исходя из соображений минимизации затрат на прокладку, эксплуатационных расходов, удобства обслуживания.

В этом разделе рассматриваются общие принципы прокладки оптической магистрали и особенности прокладки ВОЛС.

При выборе способа строительства необходимо учитывать основные требования: минимальные затраты на строительство, минимальные затраты на эксплуатацию, иные расходы, удобства обслуживания.

При выборе марки кабеля обязательно следует учитывать все условия его прокладки, а именно, в городской телефонной канализации, грунте или при переходе через водные преграды, с учетом современных методов прокладки ОК, таких как сооружение ВОЛС путем подвески оптического кабеля на опорах линии электропередачи и электрифицированных железных дорог, пневмопрокладка оптического кабеля в защитные пластмассовые трубы небольшого диаметра, которая применима не только для строительства городских сетей, но и при строительстве междугородных и международных линий связи. Кроме линейных кабелей, необходимо выбрать станционные кабели, для прокладки внутри помещений узлов связи и оптические шнуры для концевой заделки и коммутации оптических кабелей связи.

Выбор трассы проектируемой магистрали определяется прежде всего расположением конечных пунктов и выбирается с учетом наименьшего объема работ по строительству, возможности механизации работ, обеспечения наиболее благоприятных условий эксплуатационного обслуживания и наименьших затрат по защите кабеля от всякого рода неблагоприятных воздействий.

Трасса должна проходить через населенные пункты с целью обеспечения их связью. В черте города оптические кабели прокладываются в городской телефонной канализации (существующей либо вновь прокладываемой).

За пределами населенных пунктов трасса, как правило, должна проходить вдоль магистральных автомобильных дорог, а при отсутствии последних – вдоль железных дорог. Глубина прокладки подземных оптических кабелей, также как и электрических – 1,2 м.

3.2 Варианты трассы для прокладки оптического кабеля

Населенные пункты, через, которые проходит магистраль: Талгар, Иссык, Корам, Шелек, Коктал.

В результате расчетов были вычислены число абонентов для каждого пункта и учитывая данные по варианту было вычислено общее число каналов проектируемой магистральной волоконно-оптической линии. Было определено, что количество каналов на магистрали составляет 2932 основных цифровых каналов (ОЦК). Теперь, определив количество ОЦК на проектируемой магистрали, переходим к выбору транспортного модуля и оптического кабеля. [9]

Ряд существенных отличий в проведении работ на ВОЛС обусловлен так же своеобразием конструкции ОК:

- критичностью к растягивающим усилиям;
- малыми поперечными размерами и массой;
- большими строительными длинами;
- сравнительно большими величинами затухания сростков ОВ;
- невозможностью содержания ОК под избыточным воздушным давлением.

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

- минимальной длины трассы;
- размещения трассы, как правило, в обход населенных пунктов;
- наименьшего числа пересечений с автомобильными, железными 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.
- в городах, рабочих, дачных поселках - преимущественно на пешеходной части улиц (под тротуарами) и в полосе между красной линией и линией застройки.

Максимальные расстояния проектируемых трасс ВОЛС при параллельном прохождении или пересечении, подземных и наземных сооружений должны соответствовать нормам.

Исходя из потребного числа каналов, между рассматриваемыми пунктами, и принятой системой передачи, для строительства проектируемой линии связи выбираем 24-х - волоконный одномодовый оптический кабель, работающий на длине волны 1550нм.

Проектируемая линия связи будет проходить по песчаным грунтам. Учитывая сложный характер грунта, а также некоторую сейсмическую неустойчивость района проектирования принято решение укладывать оптический кабель связи в полиэтиленовую трубу. Не смотря на повышенную себестоимость организации линии связи, а также повышенную стоимость производства работ, данный вариант прокладки необходим для обеспечения

долговременного использования спроектированной линии связи. Защитная труба позволит избежать абразивных воздействий песчаного грунта вследствие термических изменений геометрических параметров кабеля, а также защитит от механического воздействия на кабель при движениях грунта в результате сейсмической активности. Кабель, удовлетворяющий данным требованиям - кабель марки ДПО производства ООО "Оптен" г. Санкт- Петербург [18].

ТУ 3587-009-48973982-2000

ТУ 3587-010-48973982-2004

ТУ 3587-001-56938994-2005

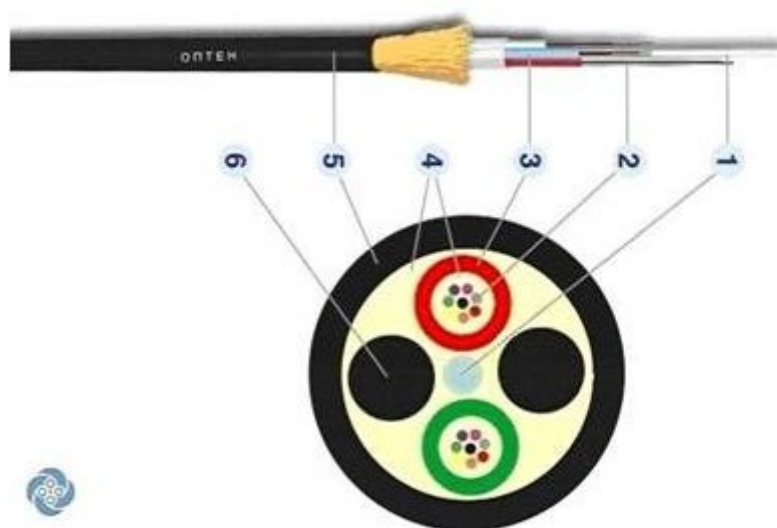


Рисунок 3.6 - Конструкция используемого кабеля

Применяемый для прокладки в канализацию и в грунт кабель ДПО, (рисунок 3.6), содержит 24 стандартных одномодовых волокна.

Конструкция кабеля:

- центральный силовой элемент: - диэлектрический;
- оптическое волокно;
- оптический модуль;
- гидрофобный гель;
- наружная оболочка, полиэтиленовая;
- кордель.

Сердечник его состоит из диэлектрического центрального силового элемента, вокруг которого наложен повив из четырех элементов: 2 модуля (по 12 оптических волокна в каждом) и два кордельных заполнителя. Весь сердечник заключен в полиэтиленовую оболочку. Свободные внутренние пространства в оптических модулях, сердечнике кабеля и пустоты в повиве стальных проволок заполнены гидрофобным компаундом.

Согласно правилам маркировки кабелей выбранный кабель имеет маркировку ОПН-ДПО-04-024С12-06.

Выбранные оптические кабели имеют следующие механические характеристики, представленные в (таблице 3.3).

Таблица 3.3 - Механические характеристики кабеля

Характеристики	Значения
Длительно допустимая растягивающая нагрузка, кН	0,2-6,0
Допустимая раздавливающая нагрузка, кН/см	≥ 0.3
Стойкость к изгибам на угол 90° (*)	20 циклов
Стойкость к осевым закручиваниям наугол $\pm 360^\circ$ на длине 4м	10 циклов
Стойкость к ударной нагрузке одиночного воздействия, Дж	5
Рабочий диапазон температур, °С	-60...+70
Низшая температура монтажа, °С	-10
Номинальный наружный диаметр, мм	6,5 - 18,0
Максимальная масса, кг/км	35-250

Срок службы кабеля, включая срок сохраняемости, при соблюдении указанной по эксплуатации и при отсутствии воздействий, превышающих допустимые нормы, составляет порядка 25 лет.

3.2.1 Характеристики оптических волокон. Оптические волокна, используемые при изготовлении кабелей “ОПТЕН” соответствуют рекомендациям ITU - T G.65 -G.653, G.655, G.656.

Применяемые типы оптического волокна:

- тип А одномодовое с расширенной рабочей полосой волн; рекомендация G 652D тип E - стандартное одномодовое;
- Рекомендация G 652B тип C - одномодовое со смещенной дисперсией;
- Рекомендация G 653 тип H - одномодовое с ненулевой смещенной дисперсией;
- Рекомендация G 655 тип Г - многомодовое градиентное (О сердцевинны 50 мкм);
- Рекомендация G 651 тип М - многомодовое градиентное (О сердцевинны 62.5 мкм);
- Рекомендация G 651 тип В - одномодовое волокно с ненулевой дисперсией для широкополосной оптической передачи;
- Рекомендация G 656. Волокна с ненулевой дисперсией для систем грубого уплотнения по длинам волн (CWDM - Coarse Wavelength Division Multiplexing)

Стандартное одномодовое волокно (тип G.652). Параметры (потери и дисперсия) этого волокна оптимизированы на длину волны 1310 нм (минимум

хроматической дисперсии), оно может использоваться и в диапазоне длин волн 1525 – 1565 нм, где имеет место абсолютный минимум потерь в волокне. Волокно G.653 оптимизировано для высокоскоростной передачи на одной длине волны и имеет ограниченные возможности для передачи на нескольких длинах волн.

Одномодовое волокно со смещенной в область длин волн $\lambda = 1550$ нм ненулевой дисперсией (тип G.655). Волокно оптимизировано для высокоскоростной передачи информации на нескольких длинах волн в диапазоне $\lambda = 1550$ нм.

В стандартных одномодовых волокнах (G.652) определяющей является хроматическая дисперсия, которая выбрана международным союзом связистов (ITU) в качестве критерия для классификации одномодовых оптических волокон.

Для OptiX OSN 6800 нет ограничений по передаче спектральных каналов по волокнам G.652, G.654 или G.655. Волокно (G.655) обладает высокой стоимостью по сравнению с волокном (G.652), поэтому можно сделать вывод о том, что применение волокна SMF (G.652) наиболее подходящее для использования.[10]

Существует также несколько специальных типов одномодовых волокон применяемых в волоконно-оптических устройствах:

- волокна для компенсации дисперсии (DC - Dispersion Compensating), применяемые в модулях компенсации дисперсии.
- волокна с примесью редкоземельных элементов, применяемые в оптических усилителях, например, в EDFA - Erbium Doped Fiber Amplifier.
- волокна, сохраняющие состояние поляризации излучения (PM - Polarization Maintaining), применяемые в гироскопах, поляризационных делителях и смесителях.
- дырчатые волокна (Holey Fiber), применяемые в компенсаторах дисперсии, в оптических шнурах, в нелинейных элементах.

Кроме описанного выше, выбранный кабель удовлетворяют требованиям по следующим электрическим параметрам:

- сопротивление изоляции цепи «броня - земля» - не менее 2000 МО/км;
- изоляция цепей «оболочка - броня», «броня - земля» выдерживает постоянное испытательное напряжение 10 кВ частотой 50 Гц в течении 5 с;
- данный кабель выдерживает импульсный ток растекания длительностью 60 мкс величиной 105 кА.

Оптические кабели с длинами волн 1,31 нм и 1,5 нм. представляют интерес для реализации их на внутризональных участках т.к. позволяют реализовать регенерационные участки (РУ) длиной 60 –100 км. На сегодняшний день промышленностью выпускаются кабели: ОКЛ, ОКЗ, ОЗКГ, ОМЗКГ. Основываясь на технических характеристиках STM-64, приведенных в таблице 3.3, в нашем проекте будем использовать кабель марки CO-TG24-2.

Оптический кабель для прокладки в грунте и канализации СО - TG242. Кабель с центральным оптическим модулем, в котором располагается 24 оптических волокна. Слой брони выполнен из стальной гофрированной ленты и кроме механической защиты служит гидробарьером, который препятствует диффузии влаги через полимерные оболочки в сторону оптического волокна.

Между броней и оптическим модулем проложена водоблокирующая лента. Наружная оболочка изготовлена из УФ – стабилизированного полиэтилена высокой плотности. Для придания дополнительной прочности конструкции в наружной оболочке размещены два силовых элемента, изготовленные из стальной проволоки. В кабель закладывается оптическое волокно Fujikura - FutureGuide– LWP(соответствует ITU-T G.652.D) [11].

3.3 Технические характеристики оптического волокна

В волоконно-оптическом кабеле должны быть использованы одномодовые ОВ, соответствующие рекомендации МСЗ-Т 0.652 (стандартное одномодовое волокно IEC 60793-2 B1.1 & B1.3 / ITU G.652). Требования к характеристикам ОВ приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Оптические волокна идентифицированы

Параметр	Параметры волокна G652	Методы испытаний
Геометрические параметры		
Диаметр отражающей оболочки, мкм	125±1	Рек. G 650 МСЭ-Т, Раздел 5.2.1; МЭК 793-1-A2
Некруглость отражающей оболочки, %, не более	1,0	Рек. G 650 МСЭ-Т, Раздел 5.2.1; МЭК 793-1-A2
Неконцентричность модового поля, мкм, не более	0,6	
Диаметр по защитному покрытию, мкм	250±15	
Погрешность концентричности покрытия, мкм, не более	12	
Оптические параметры		
Коэффициент затухания оптического волокна дБ/км, не более на длине волны, -1310 нм; -1550 нм	0,35 0,22	Рек. G 650 МСЭ-Т, Раздел 5.4; МЭК 793-1- C1

Материалы для оптических волокон должны быть однородного качества и их характеристики должны соответствовать требованиям международного стандарта МЭК 60793-1 и рекомендаций МСЗ-Т 0.652.

Оптические волокна должны быть разделены и соответственно идентифицированы.

Выбранный ВОК, производства изготовлен с волокнами, которые удовлетворяют данным требованиям [12].

3.4 Выбор полиэтиленовой трубы для прокладки оптоволоконных кабелей

Выпускаются HDPE трубы всех необходимых цветов. Спецификация труб соответствует стандарту или цветовой шкале RAL. Стандартными цветами являются оранжевый (RAL 2004), зеленый (RAL 6024), фиолетовый (RAL 7035) и черный. Под воздействием ультрафиолетового излучения цвет трубок сохраняет стабильность не менее 2 лет.

Трубки поставляются без полосок или с продольными полосками контрастного цвета, размещенными равномерно по окружности сечения труб в четырех местах, т. е. на каждых 90 градусов кругового сечения. Полоски наносятся на трубки способом коэкструзии и могут быть одинарными широкими или узкими двойными. Трубки стандартно маркируются контрастным электрокаплеструйным маркератором. Маркировка высотой минимально 5 мм указывает метраж, производителя/поставщика, заказчика, размеры, тип материала, дату изготовления и идентификационный знак.

Основными единицами поставки являются барабан, большая и малая бухты, катушки, прямые отрезки.

Каждая поставляемая единица оснащена табличкой в прозрачной упаковке, на которой указано как минимум название производителя и поставщика, обозначение изделия, общий метраж или количество кусков и дата производства. Данные можно расширить в соответствии с пожеланиями заказчиков (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 - Внешний вид защитных пластиковых труб

Размеры барабана и бухт. Барабан: - диаметр 225 см; - ширина 105 см; - диаметр шейки 85 см; - диаметр осевого отверстия 11,6 см Большая бухта: - внешний диаметр 222,0 см; - внутренний диаметр 106 см; - ширина 104 см.

Малая бухта: - внешний диаметр 210,0 см; - внутренний диаметр 145,0 см; - ширина 50-70 см.

3.5 Прокладка оптического кабеля в грунт

Оптические кабели обычно прокладываются во всех категориях, с потерями или потерями, которые приводят к деформациям вечной мерзлоты. Объекты для исправления через болота и водные преграды принадлежат отдельным видимым решениям.

При укладке ОК в землю, методы укладки кабеля для электрических прав. Укладка может быть сделана вручную в другой открытой траншее или без траншеи в виде слоев ножевого кабеля. Если используются RFP, один из соответствующих методов обрабатывается с помощью RFP в земле, а затем протягивается в него. Можно проложить RFP с кабелем внутри. ОК, с ленточной броней или стальной проволокой броня обрабатывается прямо в земле. Укладка в грунт основана на температуре окружающей среды менее 10°C.

Если восприятие не ниже 30°C, кабель должен быть проложен в отапливаемом помещении в течение двух дней.

С каждым вариантом прокладывать кабель в земле для земляных работ, рыхления земли, рытья и понимания траншей и ям; Устройства бестраншейных горизонтальных скважин через улицы, железные дороги и другие средства связи для наведения порядка; Планирование маршрута до рытья траншей с пониманием и прокладкой кабельных слоев ОК или ЗПТ; Восстановление нарушенного слоя почвы.

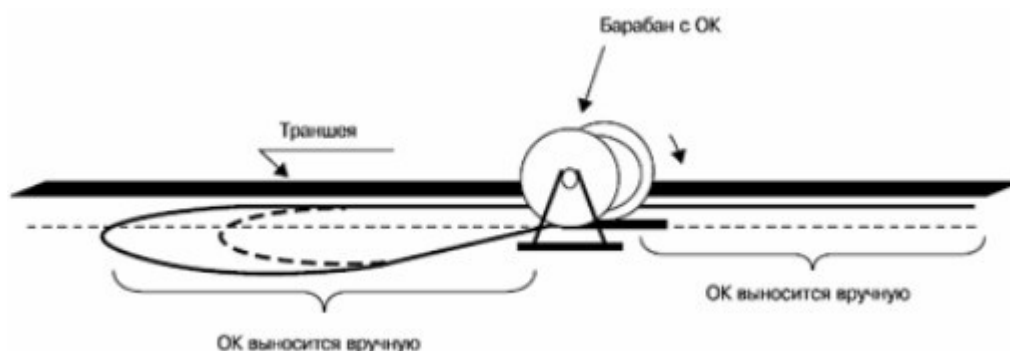
Земляные работы считаются руководящими принципами для построения линейных структур сетей связи. Работы по наведению порядка в точках, которые пересекают защитные зоны магистральных трубопроводов газовой и нефтяной промышленности. Электрические сети должны находиться под контролем соответствующих прав на производство земляных работ в защитных зонах этих коммуникаций. Раскопки, которые соответствуют защитным зонам связи, разрешены только с письменного регламента организации, которая делает эти сообщения, и в преследовании их интересов [12].

При управлении земляными работами также должны быть приняты права на сооружения земляных работ, правила защиты коммуникаций и другие стандарты. Прокладка кабеля в открытом желобе. При укладке ОК в открытом желобе было замечено, что максимум ограничивает минимальный радиус изгиба ОК, слышал и понимал пол или песчаную кровать. Прежде чем укладывать ОК в открытом желобе под землей и выровнять камнями, строительным мусором и другими личными выгодами, хорошо после принятия решения о желобе. В скалистом правом дне траншеи будет хорошо от острых выступов и большого мусора перед укладкой. Уложить под кабель и под

защитный слой мягкого грунта или песка толщиной менее 10 см. Размотайте кабель и обычно кладите его в открытый желоб. с особыми интересами. Укладка кабеля в подготовленную траншею осуществляется одним из следующих способов: после укладки кабеля в траншею или после края барабана, установленного в корпусе, или после кабельного конвейера, перемещающая саму траншею; Переместить ОК на всю длину. В обоих случаях, когда барабан вращается со специальными правами или ручным касанием при намотке кабеля. Вращение барабана Воздействие вытягивания кабеля не производится. Скорость барабана постоянно задавалась при обработке укладки кабеля после трассы. Не разрешается перематывать трос петлями с барабана. При размотке следите за тем, чтобы при выходе из барабана перекрывающиеся повороты не включали резких изгибов и рывков. Если вы прокладываете трос от движущейся машины, снимите ОК с барабана от рабочих, следующих за машиной, и поместите его на дно траншей или на их край, ОК будет находиться в траншее. Траншеи не видят скорость автомобиля

1 км / ч. Если рельеф местности и дорожные условия не соответствуют условиям эксплуатации, прокладка с указанием общей длины траншеи и постоянного опускания кабеля в траншею. Количество работников, которые составляют оплату труда работника с массой кабеля не более 35 кг [13].

Расстояние между рабочими должно быть таким, чтобы кабель при выноске не волочился по земле. При недостаточном количестве рабочих применяют способ "петли". Барабан в этом случае устанавливается посередине или в другой, заранее отмеренной точке трассы. ОК должен укладываться посередине дна траншеи без натяжения и плотно прилегать к дну траншеи. При прокладке нескольких кабелей в одной траншее их следует располагать параллельно с расстоянием между ними не менее 50 мм без перекрещивания. При наличии на трассе различных пересечений кабель прокладывают способом "петли" (рисунок.3.8) [20].



Риснок 3.8 - Схематическая прокладки ОК методом "петли" бестраншейный способ прокладки кабеля с помощью кабелеукладчика, благодаря высокой производительности и эффективности

Прокладку ВОК бестраншейным способом производят с помощью специальных кабелеукладчиков, рабочие органы которых прорезают в грунте

узкую щель, укладывают кабель на заданную глубину, обеспечивая требуемый радиус изгиба кабеля при выходе из кассеты и исключая его повреждения в процессе прокладки.

Для обеспечения контроля волокна строительной длины ОК перед прокладкой сваривают шлейфом. При прокладке кабеля по заболоченным участкам в местности со сложным рельефом, плотных грунтах и т.д. возможен неравномерный ход кабелеукладчика, поэтому необходимо особенно тщательно следить за синхронностью размотки кабеля, обеспечивая его слабинку перед входом в кассету. При прокладке ОК недопустимы: вращение барабана под действием натяжения кабеля, рывки кабеля при прокладке в сложных грунтах, наличие препятствий в грунте. При любом способе прокладки ОК непосредственно в грунт в местах стыковки строительных длин отрываются котлованы 3000x1200x1200 мм для размещения оптических муфты запаса ОК. Запас ОК должен обеспечивать возможность подачи муфты в зону, удобную для организации рабочего места монтажников. Длина запаса на каждом кабеле, входящем в муфту, после укладки муфты в грунт должна быть не менее 10 м.

3.6 Выбор усилителя

Волоконно-оптические усилители EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) – это усилители, созданные на основе оптического волокна легированного ионами эрбия EDF (erbium doped fiber). Принципиальная схема волоконно-оптического усилителя EDFA приведена на (рисунке 3.10). Принцип работы эрбиевого усилителя (EDFA) основан на явлении усиления света при вынужденном излучении (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) ионами эрбия, введенными в сердцевину оптического волокна.



Рисунок 3.10 - Внешний вид усилителя EDFA

В усилителях используется 32-битный процессор, который на программном уровне позволяет своевременно и точно контролировать выходную оптическую мощность и различные состояния работы лазера

накачки, что обеспечивает стабильную и надежную работу устройства и эффективно продлевает срок службы лазера накачки.

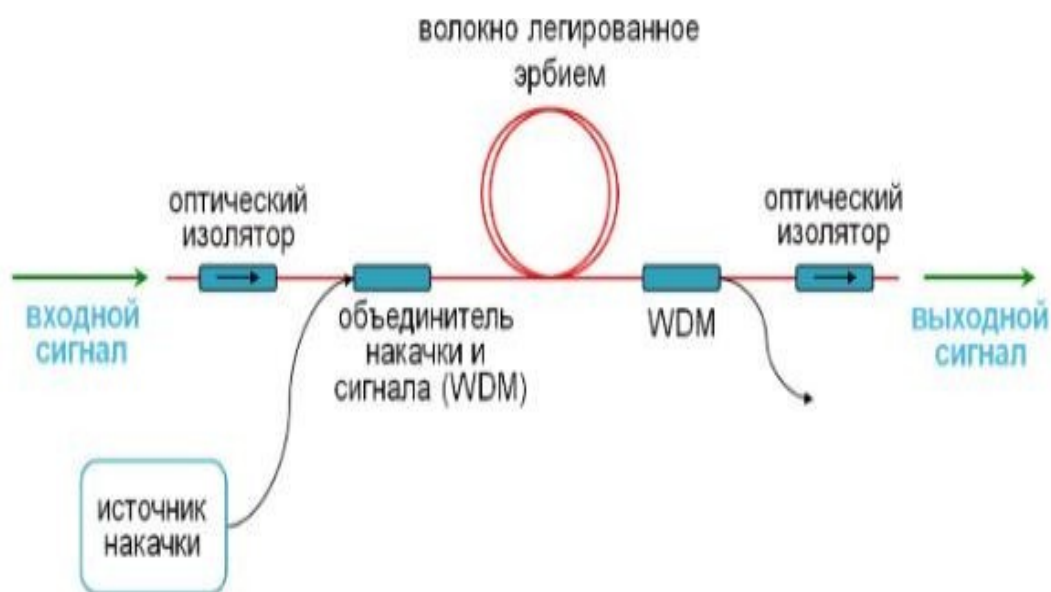


Рисунок 3.11 - Схема усилителя EDFA

Оптические усилители серии EDFA-1550 можно настраивать на месте через лицевую панель, оснащенную встроенным ЖК монитором, а так же удаленно управлять устройством и осуществлять его мониторинг. Поддержка протокола SNMP обеспечивает легкую интеграцию устройства в системы мониторинга сети оператора. Для удаленного использования усилители серии EDFA-1550 не требуют дополнительного программного обеспечения.

Эрбиевые усилители предназначены для компенсации потерь оптического сигнала в волоконно-оптических линиях связи. Усиление оптического сигнала происходит в типовом для DWDM систем «С» диапазоне (1525...1565 нм) в соответствии с сеткой частот ITU. Существуют так же оптические усилители EDFA работающие в «L» диапазоне (1565...1625нм), который позволяет увеличить количество оптических каналов в DWDM системе. На (рисунке 3.12) приведён спектр потерь в волокне и полосы усиления EDFA.

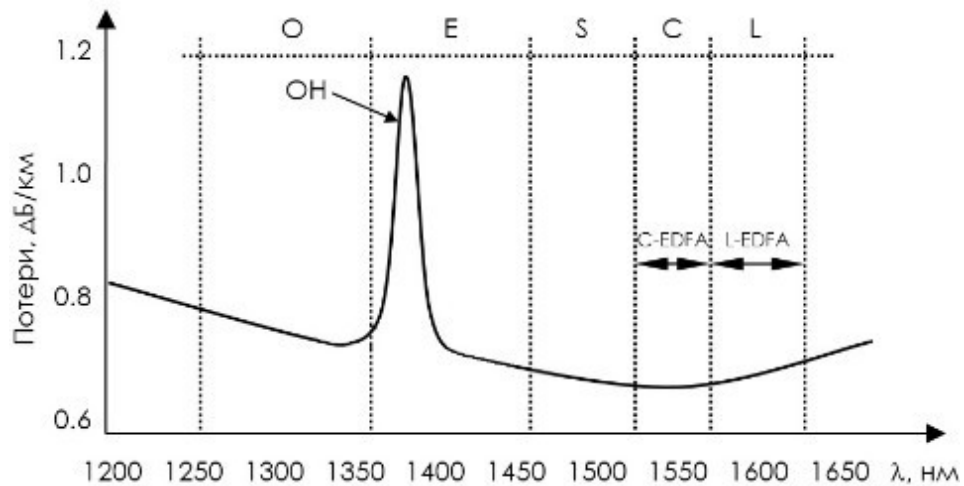


Рисунок 3.12 - Спектр потерь в волокне и полосы усиления EDFA

3.7 Физика процесса накачки

Накачка современных эрбиевых усилителей осуществляется светом с длинами волн 980 нм или 1480 нм. При поглощении фотонов накачки 980 нм ионы эрбия переходят из основного состояния на короткоживущий уровень, с которого за счёт процессов релаксации переходят на метастабильный уровень. Термин метастабильный означает, что время жизни частиц в этом состоянии относительно велико (10 мс). Поэтому даже при умеренном уровне мощности накачки можно перевести почти все ионы эрбия в возбуждённое состояние.

При отсутствии накачки или малом уровне ее мощности (когда населённость верхнего уровня мала) усиление отрицательно, то есть наблюдается поглощение. По мере увеличения мощности накачки все большее число активных ионов переходит в возбуждённое состояние. Это приводит сначала к уменьшению коэффициента поглощения, а затем к усилению света. Отметим также, что спектр усиления несколько сдвинут в длинноволновую область относительно спектра поглощения.[14]

3.8 Достоинства серии EDFA-1550

Гарантированное качество за счет использования легированного волокна от компании JDSU (США) и высоконадежного лазера накачки от компании Fitel (Япония);

- второй лазер накачки для моделей с 24дБм и выше;
- опциональная возможность установки второго лазера накачки для усилителей с бюджетом 21, 22 и 23дБм;

- двойное легирование оптического волокна эрбием (Er) и иттербием (Yb) для моделей с бюджетом более 25дБм;
- опциональная возможность установки WDM/PON мультиплексоров для устройств с бюджетом более 25дБм и количеством выходов 4, 8, 16, 32 и 64;
- интеллектуальная система контроля и стабильности работы устройства на базе 32-битного процессора;
- удаленный контроль параметров и управление устройством (поддержка протокола SNMP);
- интуитивно-понятный web-интерфейс управления;
- два блока питания, основной и резервный, возможность горячей замены (hot-swap);
- встроенный ЖК монитор с 160x32 пиксельной матрицей на передней панели отображает все рабочие параметры;
- шасси 1U от 1 до 16 выходов, шасси 2U от 16 до 64 выходов;
- простой монтаж: установка в стандартную 19" стойку;
- полнофункциональное standalone-устройство, не требующее специальных программных продуктов и дополнительного оборудования.

3.9 Разбивка трассы на секции мультиплексирования и регенерации

Сеть SDH большой протяженности можно представить в виде последовательного соединения ряда секций, специфицированных в Рекомендациях ИТУ-Т G.957 и G.958. Маршрут ЦСП синхронно-цифровой иерархии состоит из регенерационных и мультиплексных секций. Принято различать три типа стандартизированных участков (секций) – оптическая секция (участок от точки электронно-оптического до точки оптоэлектронного преобразователя сигнала), мультиплексная секция и регенерационная секция.

Мультиплексные секции организуются между соседними терминальными мультиплексорами и мультиплексорами ввода/вывода. Регенерационные секции организуются между соседними мультиплексорами, работающими в режиме регенераторов или между регенератором и мультиплексором (терминальным, ввода/вывода).

Разбивка трассы производится вначале на секции мультиплексирования, а затем на секции регенерации. а затем на секции регенерации. Мультиплексоры ввода/вывода цифровых потоков устанавливаются обычно в крупных узловых центрах на протяжении магистрали. Затем, мультиплексные секции разбиваются на регенерационные секции длиной $L_{p,c}$

$$L_{p,c} = l_{p,y} - 0.1l_{p,y}, \quad (3.1)$$

где $L_{p.c}$ — длина регенерационной секции, с учетом технологического запаса кабеля, км;

$L_{p.c}$ — рассчитанная проектная длина регенерационного участка, км;
 $L_{p.c} = 90,3 \cdot 0,190,3 = 320$ (км).

Примерная схема установки мультиплексов и регенераторов на магистрали (при длине волны = 1,31 мкм; длина регенерац. секции = 320км)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломном проекте были рассмотрены все основные вопросы, связанные с проектом строительства волоконно– оптических линий передачи. Проведя геолого – географический анализ местности на участке вдоль автодороги. Была выбрана трасса и способ прокладки оптического кабеля. В качестве способа прокладки оптического кабеля был выбран метод прокладки в защитных пластмассовых трубах, дающий огромное количество преимуществ, описанных в дипломном проекте. Были выбраны оптический кабель ОКЛ–01–6–24–10/125–0,36/0,22–3,5/18–2,7

«Самарской оптической кабельной компании» и ЗПТ «SILICORE» 32/3,3 компании «DURA – LINE CORP.» (США).

Волоконно – оптическая система передачи на данном участке была спроектирована с применением технологии волнового уплотнения каналов.

На основании изучения технических требований к основным узлам аппаратуры DWDM и анализа промышленных систем волнового уплотнения было выбрано оборудование фирмы Huawei. Оптическая система передачи OptiX OSN 6800 на основе технологии DDWDM является новым поколением систем оптической передачи DWDM с высоким объемом передачи на длинные расстояния.

Подробно рассмотрена технология строительства ВОЛП с использованием защитных пластмассовых труб, описаны методы прокладки этих труб на всех участках трассы, способ задувки оптического кабеля в защитные трубы.

При проектировании ВОЛП были рассмотрены основные параметры надежности, которые являются обобщающим показателем работы средств связи, а также факторы, влияющие на надежность. Полученные в результате расчетов значения параметров надежности удовлетворяют нормативными показателями, что говорит о правильности выбора оборудования и оптического кабеля.

Темпы развития телекоммуникаций настолько стремительны, что такой запас в наращивание каналов полностью оправдан.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Основы телекоммуникаций // (Персональная страница Николая Пономаренко) / Ин-т ядер. физики, Новосибирск, 2003.
- 2 URL: <http://k504.khai.edu/index.php/abiturient/150-chto-takoe-telekommunikatsii/267-chto-takoe-telekommunikatsii-i-iz-chego-oni-sostoyat> (дата обращения: 20.03.2020).
- 3 URL: <http://www.xdsl.ru/articles/kran.htm> - сайт DWDM-технологии (дата обращения: 15.05.2020)
- 4 URL: <http://ru.wikipedia.org> <http://ru.wikipedia.org/wiki/Fttx> - сайт Wikipedia.org
- 5 "Сети и системы связи" №9, 09.2008. - М: Радио и связь, 2008
- 6 "Lightwave" 01.2004. - М: Высокие технологии, 2004
- 7 Современный подход к проектированию систем DWDM. - Сп-б: Гипросвязь, 2009
- 8 Руководство по техническому учету оборудования и паспортизации сооружений ГТС. - М: Главное управление городской телефонной связи, 1979
- 9 ВОКС. Волоконно-оптическая кроссовая система. - М: Связьстройдеталь, 2011
- 10 Р.Р Убайдуллаев Волоконно- оптические сети М: Эко-Трендз 2001г
- 11 Охрана труда на предприятиях связи. / Н.И. Баклашов, Н.Ж. Китаева, 97.
- 12 URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=564055> (дата обращения 18.04.2020)
- 13 URL: <http://rftel.ru/populyarnyy-opticheskiy-usilitel-1550-nm-20-dbm>(дата обращения 18.04.2020)
- 14 URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=564055>(дата обращения 18.04.2020)
- 15 URL:https://ftp.utcluj.ro/pub/users/cemil/dDWDM/dDWDM_Intro/16_5311757.pdf (дата обращения 19.05.2020)
- 16 URL:https://www.tutorialspoint.com/optical_networks/optical_networks_DWDM_technology.htm (дата обращения 20.05.2020)
- 17 URL: <https://www.globalspec.com/reference/21551/160210/chapter-4-2-dDWDM-network-topologies-review>(дата обращения 05.04.2020)
- 18 URL: <https://www.fiberlabs.com/glossary/about-DWDM/>(дата обращения 01.05.2020)

Отзыв руководителя

Дипломной работы

Жаксылык Айымжан Мухамбеткалиқызы

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тема Проектирование волоконно – оптических линий связи на основе DWDM

Волоконно-оптические системы связи проходят очередной этап своего развития.

Рост потребностей в увеличении объемов связи, как с точки зрения увеличения скорости передачи информации, так и с позиции охвата новых регионов, привел к необходимости появления новых волоконно – оптических технологий.

Сделан краткий обзор DWDM технологии. Приведены методы типового расположения DDWDM – мультиплексоров.

Рассчитаны длины регенерационного участка, длины регенерационного участка по затуханию.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ.

Дипломная работа выполнена на оценку 95/А/«отлично», а дипломант, Жаксылык Айымжан Мухамбеткалиқызы достойна степени бакалавра специальности 5B071900-Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

Научный руководитель

Ассоциированный профессор каф.ЭТиКТ

 К.Х.Жунусов

«23» 05 2022 ж.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу

Жаксылық Айымжан Мұхамбетқалиқызы

5B071900- Радиотехника, электроника және телекоммуникация

Тема Проектирование волоконно – оптических линий связи на основе DWDM

Волоконно-оптические системы связи проходят очередной этап своего развития.

Рост потребностей в увеличении объемов связи, как с точки зрения увеличения скорости передачи информации, так и с позиции охвата новых регионов, привел к необходимости появления новых волоконно – оптических технологий, в частности технологий спектрального (частотного) мультиплексирования (уплотнения) каналов, получивших название DWDM – и DWDM – технологий. дан анализ технологии MOXA и показаны преимущества этой технологии.

В расчетном разделе были рассчитаны следующие параметры: коэффициент использования в распределительной системе и основные параметры волоконно-оптического кабеля.

Общие требования к составлению, изложению, оформлению и содержанию текстовых и графических материалов работы выполнены в соответствии с ГОСТ

Дипломная работа выполнена на оценку 95/А/«отлично», а дипломант, Жаксылық Айымжан достойна степени бакалавра специалности 5B071900- Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

Рецензент

Зам. директора по производству
Корпорации «Сайман»


А.Алиев
«23» Корпорация «Сайман» 2022 ж.

ҚазҰТЗУ 704-21 Ү. Пікір

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Жаксылық Айымжан Мұхамбетқалиқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Проектирование волоконно – оптических линий связи на основе DWDM

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 4.3

Коэффициент Подобия 2: 2.1

Микропробелы: 205

Знаки из других алфавитов: 36

Интервалы: 289

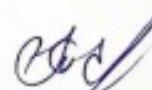
Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата 23.05.2022

заведующий кафедрой



**Университеттің жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаменті
директорының ұқсастық есебіне талдау хаттамасы**

Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры көрсетілген еңбекке қатысты дайындалған Плагияттың алдын алу және анықтау жүйесінің толық ұқсастық есебімен танысқанын мәлімдейді:

Автор: Жақсылық Айымжан Мұхамбетқалиқызы

Тақырыбы: Проектирование волоконно – оптических линий связи на основе DWDM

Жетекшісі: Канат Жунусов

1-ұқсастық коэффициенті (30): 4.3

2-ұқсастық коэффициенті (5): 2.1

Дәйексөз (35): 0.8

Әріптерді ауыстыру: 36

Аралықтар: 289

Шағын кеңістіктер: 205

Ақ белгілер: 0

Ұқсастық есебін талдай отырып, Жүйе администраторы мен Академиялық мәселелер департаментінің директоры келесі шешімдерді мәлімдейді :

Ғылыми еңбекте табылған ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді. Осыған байланысты жұмыс өз бетінше жазылған болып санала отырып, қорғауға жіберіледі.

Осы жұмыстағы ұқсастықтар плагиат болып есептелмейді, бірақ олардың шамадан тыс көптігі еңбектің құндылығына және автордың ғылыми жұмысты өзі жазғанына қатысты күмән тудырады. Осыған байланысты ұқсастықтарды шектеу мақсатында жұмыс қайта өңдеуге жіберілсін.

Еңбекте анықталған ұқсастықтар жосықсыз және плагиаттың белгілері болып саналады немесе мәтіндері қасақана бұрмаланып плагиат белгілері жасырылған. Осыған байланысты жұмыс қорғауға жіберілмейді.

Негіздеме:

2022-05-19

Күні

Кафедра меңгерушісі



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Жақсылық Айымжан Мұхамбеткалиқызы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Проектирование волоконно – оптических линий связи на основе DWDM

Научный руководитель: Канат Жунусов

Коэффициент Подобия 1: 4.3

Коэффициент Подобия 2: 2.1

Микропробелы: 205

Знаки из здругих алфавитов: 36

Интервалы: 289

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

2022-05-19

Дата

Сұңғат Марқсұлы

проверяющий эксперт