

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра тeлeкoммуникацoнныx систем специальность

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой _____

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

« ____ » _____

20 ____ г.

(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Проектирование ВОС на участке
7-й км - Павлодар с применением технологии
DWDM

Специальность _____

Выполнил (а) Касиев С.И. М70-10-05
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель ст.пр Ессеударова З.Ю. з/п
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Боканова Г.Ш - доцент каф ЭОиУП

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« ____ » 05 20 ____ г.

(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Джусабеков ЖКС, аспи, проф.

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« ____ » 06 20 ____ г.

(подпись)

по применению вычислительной техники:

ст. преподаватель Аргохин Н.В.

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« ____ » 06 20 ____ г.

(подпись)

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« ____ » 06 20 ____ г.

(подпись)

Нормоконтролер: ст. препод. ТКО Кондратов Ф.Ф.

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« ____ » 06 20 ____ г.

(подпись)

Рецензент:

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

« ____ » 06 20 ____ г.

(подпись)

Алматы 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет радиотехника, электроника и телекоммуникации
Специальность 53041900 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Кафедра телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студент Кошесова С.Н.
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Проектирование ВОС на участке
Томск - Павлодар с применением новых технологий
РНОМ

утверждена приказом ректора № ____ от « ____ » сентября 20 ____ г.

Срок сдачи законченной работы « ____ » 20 ____ г.

Исходные данные к проекту требуемые параметры результатов проектирования (исследования) и исходные данные объекта

Населенные пункты: 2 Павлодар (312 тыс. чел.)
1 Томск (328 тыс. чел.)

Применяемые населенные пункты: Карабудак (46 837 чел.),
Краснодар (19524 чел.), Брединское (120 557 чел.), Кобосибайское (2731176 чел.),
Шамшет (11055 чел.), Баштанс (16 202 чел.), Юрга (83 446).
трасса 861 км

Перечень подлежащих разработке дипломного проекта вопросов или
краткое содержание дипломного проекта:

Характеристика решений видов транспортных
средств и видов технологии, видов оборудования, географи-
ческие и экономические характеристики решений, видов
трасс. Расчет основных параметров - необходимого
количества машин, расчет реконструкции участка,
основных характеристиках оптического волокна, рура-
боты схемы сращивания волокна, анализ условий
труда, расчет кондиционирования помещений,
разработка будущих машин, расчет доходов, основных
использований производительности инвестиций и экономи-
ческой эффективности проекта

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Рекомендуемая основная литература

Алишевбеков Б.Н., Ильинская В.Ф., Каш В.А. Военное -
спортсмен. Алматы. 1999.; Тробичев Г.С. Военное -
спортивные науки: Учебное пособие для курсов - 2-е
изд., перераб. и доп. - Ал.: Радио и связь, 1990. - 224 с.;
Усейнбеков Р.Р. Военное - спортивные науки - Ал.:
ЖКО - ТРЕНДЗ, 1998. - 267 с.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Общ	Алишевбек М.Ж.	28 мая 2014	<u>Алишевбек</u>
стенд гост	Есипбекова Е.Ю	28 мая 2014	<u>Есипбекова</u>
Выполн. техника	Артожев А.В.	3 июня 2014	<u>Артожев</u>

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Обоснование проекта, космическая задача	25.02.14	
2.	Определение трассы	26.02.14	
3.	Обзор технологий испытаний в ВСЛС	29.02.14	
4.	Расчет исходного конического канала	03.03.14	
5.	Модель облучивания	04.03.14	
6.	Модель табло, оптического восприятия	10.03.14	
7.	Расчет списка регистрационных участков	10.03.14	
8.	Составление списка организующих субъектов	13.03.14	
9.	Расчет альбедо, показателей надежности	14.03.14	
10.	Написание промежуточной аэрометеорологической отчетности Редклифф	16.03.14	
11.	Разработка библио-библии и расчет коэффициентов ядер. дозиметров	24.03.14	
12.	Расчет параметров эффективности излучения и сценария разрушения	01.04.14	
13.	Анализ условий труда и расчет производства сечений	12.04.14	
14.	Исследование чувствительности при работе с измерением источников света	28.04.14	

Дата выдачи задания « ____ » 20 ____ г.

Заведующий кафедрой _____

(подпись)

(Фамилия и инициалы)

Руководитель _____

Эрнест

Ессеевская Е.Ю.

(подпись)

(Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению

студент

Хан

Хановская С.М.

(подпись)

(Фамилия и инициалы)

Анданпа

Жобаның тақырыбы: «Томск- Павлодар телімінде талшықтық-оптикалық байланыс желісін DWDM технологиясын колдануымен жобалау». Бұл дипломдық жобада регенерациялық телімін ұзындығы, ағындардың және арналардың саны есепке алынды. Мультиплексор, оптикалық кабель, оптикалық талшық, трасса алынды, және алынған трассаның ұйымдастыру тәсімі құрылды.

Экономикалық бөлімінде капиталдық қаражат жұмсау және пайдалану шығыстары есепке алынды.

Өмір қауіпсіздігі бөлімінде жарықтандыру көрсеткіштерінің есебі өткізілді және кабельмен жұмыс істегендеге қауіпсіздік шаралары көрсетілді.

Аннотация

Темой данного проекта является: «Проектирование ВОЛС на участке Томск-Павлодар с применением технологии DWDM». В данном дипломном проекте были произведены расчеты длины регенерационного участка, рассчитано число потоков и каналов. Были выбраны: мультиплексор, оптический кабель, оптическое волокно, выбрана трасса и построена схема организации проектируемой трассы.

В экономическом разделе рассчитаны капитальные вложения и эксплуатационные расходы.

В разделе безопасности жизнедеятельности произведен расчет показателей освещения и приведены меры безопасности при работе с кабелем.

Annotation

The theme of the graduation project is “Design of fiber optic link using technology DWDM.” In this project work were calculated: regeneration section length, number of streams and canals. Also were selected multiplexer, optical cable and fiber, selected track and built scheme of the project.

In the economic section calculated capital investment and operating star.

In the safety of life calculated the indicators lighting.

Содержание

1	Обоснование проекта, постановка задачи	9
1.1	Анализ поставленной цели	9
1.2	Описание трассы	10
1.2.1	Географическая и экономическая характеристика г.Павлодар ..	10
1.2.2	Географическая и экономическая характеристика г.Томск	11
1.2.3	Характеристика промежуточных пунктов	13
1.3	Методы увеличения пропускной способности волокна	14
1.4	Технология DWDM	21
1.4.1.	Описание технологии	21
1.4.2	Транспондеры и трансиверы	26
1.4.3	Применение оптических усилителей	26
1.4.4	Построение сетей DWDM	27
2	Расчет основных параметров	29
2.1	Расчет необходимого количества каналов	29
2.2	Выбор оборудования	33
2.3	Выбор кабеля	35
2.4	Выбор оптического волокна	37
2.5	Расчет длины регенерационного участка	39
2.6	Составление схемы организации связи	42
2.7	Схема связи	44
2.8	Расчет апертуры	44
2.9	Расчет показателей надежности	46
2.10	Программа на алгоритмическом языке Delphi	49
3	Бизнес – план	56
3.1	Характеристики проекта	56
3.2	Организационный план	57
3.3	Производственный план	57
3.4	Финансовый план	57
3.5	Годовые эксплуатационные расходы	59
3.5.1	Расчет штата работников	59
3.5.2	Расходы на эксплуатацию ВОСП	59
3.6	Доходы и экономическая эффективность	62
3.7	Расчет показателей микроклимата	63
3.7.1	Чистая текущая стоимость проекта (NPV)	63
3.7.2	Внутренняя норма рентабельности (IRR)	64
3.8	Оценка результата	65
4	Безопасность жизнедеятельности	67
4.1	Нормирование параметров микроклимата	67
4.2	Технические решения ОБЖ	68
4.3	Выбор кондиционера	70
4.4	Безопасность при работе с оптическим кабелем	74

4.5 Меры предосторожности при работе с источниками света.....	75
Заключение.....	76
Список литературы.....	77
Приложение А – Схема организации связи на проектируемом участке.....	78
Приложение Б – Схема организации связи на проектируемом участке.....	79
Приложение В – расчет основных параметров волокна.....	80

Введение

На сегодняшний день оптиковолокно постепенно вытесняет медные кабельные линии. Так, медные кабельные линии уже приблизились к своим предельным возможностям. С быстрым темпом роста урбанизации, социально-экономического и научно-технического прогресса, требования к линиям связи только увеличиваются. Поэтому использование ВОЛС (волоконно-оптических линий связи) становятся все более актуальным и экономически оправданным.

ВОЛС позволяет связать между собой структурные подразделения и объединить сети компаний-партнеров различных стран, а также подключиться к глобальной сети передачи данных. В качестве среды распространения сигнала при этом используются оптические диэлектрические световоды, известные под называнием оптическое волокно. Характерными особенностями оптического волокна являются низкие потери и высокая пропускная способность, что дает возможность передавать данные на большие расстояния без промежуточного усиления сигнала.

– Одной из значимых преимуществ оптического волокно является большая полоса пропускания, которая дает возможность передавать информацию в несколько ТБит/сек по одному оптическому волокну потока. Малое затухание светового сигнала в волокне, благодаря которому можно строить участки линий без ретрансляции протяженностью до 100 км и более. Низкий уровень шумов – в волоконно-оптическом кабеле позволяет увеличить полосу пропускания, путем передачи различной модуляции сигналов с малой избыточностью кода. Высокая помехозащищенность, высокая защищенность от несанкционированного доступа, малый вес и объем, длительный срок эксплуатации.[1]

На сегодняшний день все большее количество серьезных организаций начинают использовать волоконно-оптические линии связи для прокладки магистралей, построения локальных сетей и объединения крупных филиалов.

В своей дипломной работе я проектирую волоконно-оптическую линию связи на участке Павлодар – Томск. Для построения сети была выбрана технология DWDM и оборудование на ее основе, которые позволяют обеспечить возможность постоянного роста пропускной способности абонентских каналов и расширение перечня предлагаемых услуг, а также повышение пропускной способности существующих сетей доступа к высокопроизводительным транспортным сетям.

Строительство волоконно-оптической линии связи на этом участке послужит идеальной средой для информационного обмена между двумя государствами, Казахстаном и Россией.

1. Обоснование проекта, постановка задачи

1.1 Анализ поставленной задачи

В данной дипломной работе я проектирую волоконно-оптическую линию связи на участке Павлодар-Томск. Технология для проектирования этой магистральной сети выбрана DWDM. Моей целью при проектировании является:

- рассчитать необходимое количество каналов;
- с учетом рассчитанного числа потоков, выбрать мультиплексор;
- выбрать кабель, оптическое волокно;
- рассчитать длину регенерационного участка по затуханию и по дисперсии;
- выбрать трассу;
- составить схему связи.

ВОЛС позволяет связать между собой структурные подразделения и объединить сети компаний - партнеров на территории Казахстана и России, а также подключиться к глобальным сетям передачи данных. В качестве среды распространения сигнала при этом используется оптическое волокно, характерными особенностями которого являются высокая пропускная способность и низкие потери, что дает возможность передавать данные на большие расстояния без промежуточного усиления сигнала. Высокая надежность сети обеспечивается резервированием волоконно-оптических линий связи по географически разнесенным маршрутам и наложенной системой эксплуатации линейно-кабельных сооружений.

С быстрым темпом роста в данных городах урбанизации, социально-экономического и научно-технического прогресса, предъявляется все больше требований к качеству, скорости и надежности связи. Для удовлетворения этих потребностей используется ВОЛС. Их свойству – разделить сигнал миллионам потребителей – нет альтернативы.

В проектировании магистральной сети использую технологию DWDM, которая даст возможность существенно увеличить пропускную способность канала связи и увеличить объем передаваемой информации до терабайтов.[1] Строительство волоконно-оптической линии связи на этом участке послужит идеальной средой для информационного обмена между двумя государствами, Казахстаном и Россией.

Кроме того, в результате реализации проекта, населенные пункты на всей протяженности трассы между городами двух государств будут обеспечены качественной цифровой междугородной и международной связью, а также получат широкий доступ к различным видам телекоммуникационных услуг.

В моей работе трасса проходит между пунктами Павлодар – Томск, промежуточные пункты Карасук, Краснозерское, Ордынское, Новосибирск,

Мошково, Болотное и Юрга. В таблице 2.8 представлены расстояния между пунктами. На рисунке 2.3 общий план трассы.

1.2 Описание трассы

1.2.1 Географическая и экономическая характеристика г. Павлодар

Павлодар — город, который находится в северо-восточном Казахстане. На данный момент площадь Павлодарской области составляет 127,5 тыс. кв. км. Павлодар расположен в 450 км к северо-востоку от столицы страны города Астана. Большая часть территории Павлодарской области находится в пределах юга Западносибирской равнины в среднем течении реки Иртыш.[2]

В состав территории Павлодарской области входит 10 сельских районов: Актогайский, Баянаульский, Железинский, Иртышский, Качирский, Лебяжинский, Майский, Павлодарский, Успенский, Щербактинский и 3 города: Аксу, Экибастуз, Павлодар.[2]

Только в некоторых местах павлодара и Павлодарской области встречаются горные отроги, находящиеся на крайнем юге и юго-западе Сарыарки — горы Кызылтауские, Баянаульские и другие. Рельеф Павлодарской местности большей частью считается равнинный и степной. Одной из характерных особенностей рельефа являются гривы и многочисленные степные западины, котловины, занятые озерами. [2]

Одной из гордости Павлодарской области — река Иртыш, которая является одной из крупнейших рек Азии. Иртыш протекает с юго-востока на северо-запад. Канал Иртыш-Караганда берет свое начало от реки Иртыш. На нем сооружены Шидертинское водохранилища, Экибастузкое и другие.

Климат Павлодарской области резко континентальный, но по причине того, что в близь города протекает река Иртыш считается более мягким. Зимой в январе средняя температура $-18^{\circ}\text{--}19^{\circ}\text{C}$, а летом в июле месяце $+21^{\circ}\text{--}23^{\circ}\text{C}$. В зимний период присуще сильные ветры со скоростью 15 м/сек, в последствии чего происходят сильные подземки и метели. Чаще встречаются ветры юго-западного и западного направлений. Также для Павлодарской области характерен снежный покров, средняя высота которого составляет 14-15 см и 25-30 м в маловетреные зимы.

Количество атмосферных осадков в год составляет 272 мм. Наименьшее количество осадков выпадает зимой. Главным источником возникновения поверхности тока, насыщения влагой почвы и грунта является накопительный снег.

Среднегодовая относительная влажность воздуха - 69%.

Население города — 312000 человек (на 1 января 2013 года), а в составе городского округа вместе с несколькими пригородными сельскими населёнными пунктами 330800 человек. [2]

Ведущей отраслью в регионе, обеспечивающей более 70 % объема производства обрабатывающей промышленности является металлургическая промышленность и обработка металлов.[2]

Павлодарская область располагает транспортным комплексом, в составе которого железнодорожный, автомобильный, воздушный и речной транспорты. Все виды транспорта дополняют друг друга и образуют единую транспортно-коммуникационную сеть.

АО «Казахтелеком» по проекту «Строительство сети FTTH» (оптика до дома) на сегодняшний день подключено 504 дома.[3]

По проекту «Модернизация и развитие сельской связи CDMA/EVDO» в 2013 году было предусмотрено 5 базовых станций CDMA 450: г. Аксу, с. Акшиман Майского района – базовые станции запущены в эксплуатацию; с. Майское Майского района – базовая станция смонтирована, готовится транспортная среда; с. Ольховка Успенского района, с. Прииртышское Железинского района – работы продолжаются.[3]

По проекту «Развитие сети ШПД в Павлодарской области» завершено строительство ВОЛС на участке Майкаин – Баянаул и на участке Павлодар-Актогай-Иртышск. Все работы завершены, объект сдан в эксплуатацию.[3]

1.2.2 Географическая и экономическая характеристика г. Томск

Томск — город в России, административный центр одноименных области района. Расположен на востоке Западной Сибири на берегу реки Томь.

Старейший в Сибири крупный образовательный, научный и инновационный центр: 9 вузов, 15 НИИ, особая экономическая зона технико-внедренческого типа и 6 бизнес-инкубаторов. Является членом Ассоциации сибирских и дальневосточных городов.[4]

Томская область расположена на юго-востоке Западно-Сибирской равнины и занимает площадь 316,9 тыс. кв. км. Областной центр - город Томск.[4]

Климатические условия южных и северных районов заметно отличаются. Почти вся территория области находится в пределах таежной зоны. Соседствует с Красноярским краем, с Кемеровской, Новосибирской, Омской и Тюменской областями, Ханты-Мансийским автономным округом.[4]

Рельеф области отличается исключительной равнинностью. Самая высокая точка Томской области: +274 м от уровня моря. Самая низкая точка: +34 м от уровня моря. Большую часть территории занимают леса, болота, реки и озера. Наиболее крупные реки - Обь, Томь, Чулым, Кеть, Васюган, Тым. Вся речная система принадлежит бассейну Оби, которая пересекает область с юго-востока на северо-запад на расстоянии около 1000 километров, деля область на две почти равные части. Количество озер в Томской области достигает 95 тысяч, особенно их много в поймах рек. Крупнейшее озеро на территории Томской области - Мирное озеро расположено на плоском междуречье рек Чузик и Чижапка. Всего в области насчитывается 573 реки.[4]

Тип климата-континентальный. Зима суровая и продолжительная. Средняя температура января от -19 °C до -21 °C. Средняя температура июля

от +17 °С до +19 °С. Осадков 450-700 мм в год. Расположена в зонах средней и южной тайги и частично смешанных лесов. Почвы главным образом дерново-подзолистые и торфяно-болотные, на юго-востоке серые лесные. Леса занимают около 54% территории.[4]

Население города насчитывает чуть более 547 тысячи человек, данные на 1 января 2013 года. А в численности муниципального образования насчитывается 545 700 жителя, данные за 2013 год. А если взять городскую агломерацию в целом учитывая город-спутник Томска – Северск, а так же пригород то население насчитывается примерно 728 тысяч жителей, данные за 2013 год. [4]

Томская область образует третий по значению центр нефтедобывающей промышленности Западной Сибири. Участки с доказанной нефтегазоносностью занимают почти 72 % земель области. Добыча нефти составляет 3% от добычи России, а добыча газа- 1%. На территории области функционирует развитая система нефте- и газопроводов.[4]

К крупнейшим компаниям, занимающимся добычей и транспортировкой углеводородного сырья на территории Томской области, относятся:

- ОАО «Томскгазпром» (дочерняя структура ОАО «Газпром»);
- ОАО «Томскнефть»
- ООО «Томсктрансгаз» (дочерняя структура ОАО «Газпром»);
- ОАО «Центрсибнефтепровод» (дочерняя структура ОАО «Транснефть»).

Эксплуатационная длина железных дорог невелика и составляет 345 км. Основная магистраль Белый Яр - Томск - Тайга. В ноябре - марте для завоза грузов на север области используются зимние временные дороги (зимники). В томской области действуют три аэропорта - в Томске, Стрежевом и Колпашеве - 15 взлётно-посадочных полос в разных районах. Воздушное сообщение связано с пассажирскими перевозками. Часть населения вынуждена пользоваться аэропортом в Новосибирске.[5]

Машиностроительные предприятия:

- АО «Производственное предприятие «Томский инструмент» - металлорежущий и деревообрабатывающий инструмент (30% удельного веса по России);
- ОАО «Томский электромеханический завод» - горношахтное оборудование (27% по России);
- ОАО «Сибэлектромотор» - общепромышленные, крановые, рольганговые электродвигатели (24% по России);
- ОАО «Сибкабель» - кабели, провода (24% по России);
- ОАО «Ролтом» - подшипники качения, роликоопоры (7,7% по России);
- ОАО «Томский электроламповый завод» - светильники, электролампы (7%).[5]

Основными потребителями является ряд отраслей промышленности: топливная, химическая и нефтехимическая, машиностроение и металлообработка, а также транспорт и сельское хозяйство.

На сегодняшний день предложение телекоммуникационных услуг в Томской области превосходит общероссийский уровень практически по всем показателям. В регионе создана многоуровневая телекоммуникационная система поддержки научно-образовательного сектора, которая включает региональный телепорт в г. Томске на базе Томского государственного университета, сеть районных ресурсных центров на базе районных школ крупных населенных пунктов области, сеть абонентских станций спутникового доступа на базе городских и сельских школ.

1.2.3 Характеристика промежуточных пунктов

Карасук – город в России, административный центр Карабасукского района Новосибирской области. Численность населения района на 1 января 2013 года — 46 837 человек (городское — 28 887, сельское — 17 950).[5]

Краснозерскок — посёлок городского типа, административный центр Краснозёрского района Новосибирской области. По данным Всероссийской переписи населения в 2013 году в Краснозёрском проживало 9524 жителей, из них 4341 мужчина (46 %), 5183 женщины (54 %).[5]

Ордынское – посёлок городского типа в России, административный центр Ордынского района Новосибирской области. Посёлок расположен на берегу Новосибирского водохранилища, в 103 километрах от города Новосибирска. Население — 12 055 чел. (по данным на 1 января 2013 года).[5]

Новосибирск — третий по численности населения и двенадцатый по занимаемой площади город в России, имеет статус городского округа. Административный центр Сибирского федерального округа, Новосибирской области и входящего в её состав Новосибирского района; также город является центром Новосибирской агломерации — крупнейшей в Сибири.[5]

Торговый, деловой, культурный, промышленный, транспортный и научный центр федерального значения. Численность населения составляет 2 731 176 человек (2013).[5]

Мошково – село, административный центр Мошковского района Новосибирской области. Население Мошково — 11 055 жителей (на 1 января 2013 года)[5].

Болотное — город в России, административный центр Болотниковского района Новосибирской области. Население — 16 202 человек (2013).[5]

Юрга — город (с 1949) в России, административный центр Юргинского района Кемеровской области, образует Юргинский городской округ. Население — 83 446[3] человек (2013).[5]

1.3 Методы увеличения пропускной способности волокна

На сегодняшний день протяженность одномодового волокна растет с большим темпом, ведь его использование становится все более актуальным и экономически выгодным, с учетом всего этого, требования к линиям связи только увеличиваются. Поэтому перед многими владельцами систем встает вопрос, как модернизировать систему, чтобы пропускная способность волокна соответствовала современным требованиям. Одним из таких способов является построение сети на основе технологии полностью оптических сетей (PON). Она позволяет значительно увеличить пропускную способность, при этом не переоборудуя существующие кабельные системы, также это дает возможность повысить надежность, экономичность, а также гибкость сетей.

На данный момент наиболее распространенными технологиями глобальных сетей связи, которые используют в качестве среды пропускания оптическое волокно являются: SDH/SONET – синхронная цифровая иерархия, PDH – плезиохронная цифровая иерархия и WDM – технология волнового мультиплексирования. Технологии SDH и PDH являются популярной при построении отечественной сети ВСС. Технология WDM на ней пока не применяется в силу дороговизны решения и не до конца исчерпанных возможностей технологии SDH.

Другие технологии, которые также используют оптическую среду передачи ATM, FDDI и GBE – Gigabit Ethernet – гигабитный Ethernet, используемых первоначально в ЛВС, только ATM и GBE перешли через рамки ЛВС и стали рассматриваться на уровне глобальных технологий, в первую очередь это касается ATM. Так как это технология имеет возможность использовать интерфейс физического уровня (модели OSI), который предоставляет транспортная технология WDM. Учитывая отсутствие в настоящее время реализаций WDM на сети ВСС, а также наличие ряда описаний указанных технологий как технологий ЛВС, они не будут мной рассматриваться ниже. Кратко описаны технологии SDH, PDH, TDM, PDM, FDM, WDM и более подробно технология DWDM.

Цифровые сети, которые использовались до появления синхронных сетевых технологий SONET/SDH, не использовали внешнюю синхронизацию от центрального опорного источника и поэтому считались асинхронными системами. В этих системах биты играл очень важную роль, ведь потеря бит или в случае, когда нет возможности их точной локализации, могло привести не только к потери всей информации, но и в последствии к нарушению синхронизации.

В синхронных сетях средняя частота всех районных таймеров либо схожа (синхронна) либо недалека к синхронной (плезиохронна) благодаря применению центрального таймера (источника) с точностью не хуже 10^{-9} (что дает, к примеру, для DS3 вероятное отклонение скорости около 0,045 бит/с). В данной ситуации выравнивание фреймов или же мультифреймов не так важно, а диапазон выравнивания является уже.[6]

К тому же, ситуация с выделением определенного фрагмента потока (например, канала E1) упрощается, если ввести указатели начала этого фрагмента в структуре инкапсулирующего его фрейма. Использование указателей позволяет гибко компоновать внутреннюю структуру контейнер-носителя. Сохранение указателей в неком буфере (заголовке фрейма или мультифрейма) и их дополнительная защита кодами с коррекцией ошибок позволяют получить исключительно надежную систему локализации внутренней структуры передаваемой по сети полезной нагрузки (фрейма, мультифрейма или контейнера).[6]

У синхронных сетей есть не мало преимуществ перед асинхронными сетями. Основные из них перечислены ниже:

- упрощение сети, так как в синхронной сети существует один мультиплексор ввода-вывода, который позволяет непосредственно вывести (ввести), например, сигнал E1 (2 Мбит/с) из/в модуля STM-1, заменяет целую цепь мультиплексоров PDH, значительно экономит на оборудовании и месте, где его можно разместить.[6]

- надежность и самовосстановимость сети, доказывается тем, что сеть использует ВОК, а он в свою очередь не подвергается действиям электромагнитных помех. Также можно использовать защищенный режим, потому как архитектура сети и ее гибкое управление позволяют нам это. В защищенном режиме допускается два альтернативных пути распространения сигнала, в первом возможен обход поврежденного узла сети, а во втором при повреждении одного из узлов есть возможность почти мгновенно переключиться на следующий, за счет этого эти сети считаются самовосстанавливающимися.

- гибкость управления сетью, обусловленная большим числом достаточно широкополосных каналов управления и гибкой иерархической системой управления с уровнями элементного и сетевого менеджмента.[6]

- выделение полосы пропускания по требованию – сервис, который раньше осуществлялся только в случае заранее спланированного соглашения, сейчас может быть осуществлен за считанные секунды, стоит только переключиться на другой широкополосный канал.

- прозрачность для передачи любого трафика – прецедент, который обусловлен применением виртуальных контейнеров для передачи трафика, сформированного иными технологиями, в которые входят самые прогрессивные технологии: Frame Relay, IP, ISDN и ATM.[6]

- универсальность применения – технология может применяться как для осуществления глобальной сети или магистрали, так и для создания компактной кольцевой корпоративной сети, соединяющей ряд локальных сетей.

- простота наращивания мощности – если есть универсальная стойка, чтобы разместить аппаратуру переход на более высокую скорость иерархии будет осуществляться при помощи просто вставки новых (которые

рассчитаны на большую скорость) карт – блоков.

Метод временного мультиплексирования (TDM)

Суть TDM в том, что передача разбивается на ряд временных циклов, в свою очередь каждый из них разделяется на N-ное количество субциклов, где N – количество уплотняемых каналов. Каждый из этих субцикла подразделяется на тайм – слоты (временные позиции), в течении этих позиций осуществляется передача какой либо части информации одного из цифровых мультиплексируемых потоков. Ко всему этому, некоторое количество позиций приходится на идентификационные синхроимпульсы, вставки и цифровой поток служебной связи. Когда происходит временное мультиплексирование каждый канал информационной системы, который имеет общую оптическую несущую (т.е. присущий один источник излучения), приходится определенное временное окно или интервал времени, чтобы передать информацию. Оптическая несущая модулируется с помощью сигнала одного информационного канала в первый интервал времени, во второй – другого и т.д. Разные факторы определяют длительность этих интервалов, главные факторы – это скорость передачи информации в линии связи, а так же скорость преобразования электрических сигналов в оптические.

Временной мультиплексор как правило стоит на передающей части, он определяет очередность и временной интервал передачи этой информации на входе линии. Демультиплексор устанавливается на другой конец линии, демультиплексор определяет номер канала, идентифицируя его (рисунок 1.1).

Метод TDM разделяется на два вида – синхронное и асинхронное (плезиохронное) временное мультиплексирование. Соответственно, что синхронная SDH и плезиохронная цифровая иерархия PDH, представлены в рекомендациях МСЭ-Т.[7]

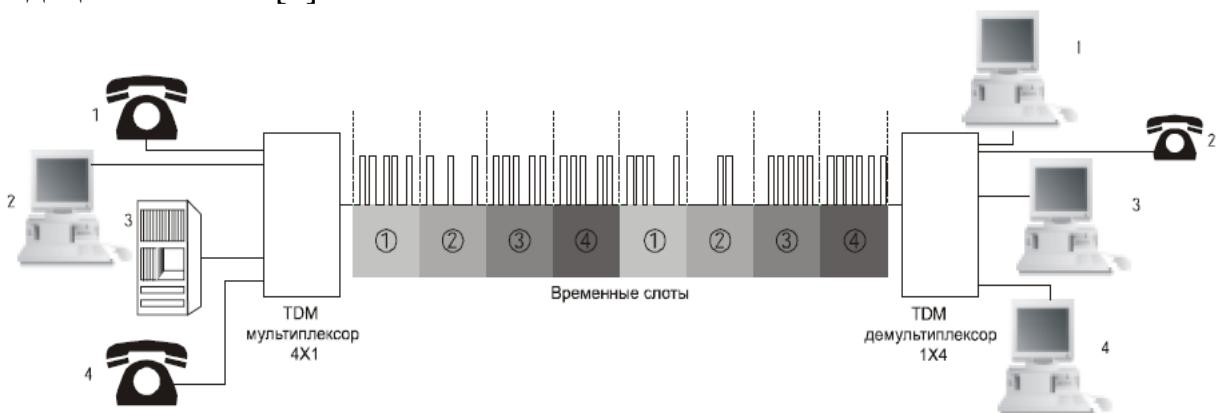


Рисунок 1.1 – Схема передачи оптических сигналов по ВОЛС с временным мультиплексированием TDM

Строение первичной сети ВСС РФ определяет разделение и объединение потоков передаваемой информации, следовательно, системы передачи, которые используются на ней, строятся на иерархическом

принципе. В применительно к ЦСП принцип его заключается в том, что количество каналов ЦСП, которое соответствует этой данной ступени иерархии, больше количества каналов ЦСП предшествующей ступени в целое число раз. Первичная – первая ступенька иерархии – относительно малого числа первичных сигналов происходит прямое преобразование в первичный цифровой поток (ОЦК). Вторая ступень ЦСП – объединяется определенное количество ОЦК во вторичный цифровой поток и т.д.

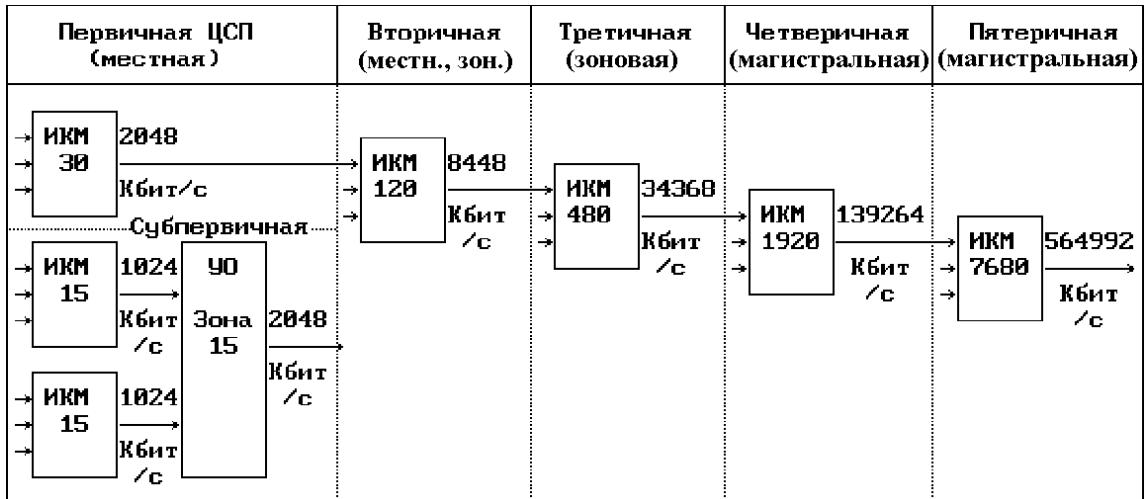


Рисунок 1.2 – Иерархия цифровых систем передач

Метод частотного уплотнения (FDM)

При применении частотного метода мультиплексирования FDM (FDM – Frequency Division Multiplexing) каждый из информационных потоков передается в физический канал на подходящей частоте – поднесущей $f_{\text{ппн}}$. В случае если оптическое излучение выступает в виде физического канала – оптическая несущая, то она модулируется массовым информационным сигналом по интенсивности, спектр этого сигнала состоит из ряда частот поднесущих, число которых одинаково количеству компонентных информационных потоков. Частота поднесущей любого канала выбирается опираясь на условия $f_{\text{ппн}} \geq 10f_{\text{вчп}}$, где $f_{\text{вчп}}$ – верхняя частота спектра информационного потока , а $f_{\text{ппн}}$ – частота поднесущей. Опираясь на условие $\Delta f_{\text{ппн}} \geq f_{\text{вчп}}$, выбирается частотный интервал между поднесущими $\Delta f_{\text{ппн}}$.

Оптическая несущая, которая находится на приемной стороне, попадает на фотодетектор, на загрузке которого выделяется электрический, групповой (массовый) поток, который поступает в последствии усиления в широкополосный усилитель приема на вход узкополосного фильтра, центральная частота пропускания которого одинакова одной из поднесущих частот.

Уплотнение по поляризации (PDM)

Уплотнение потоков информации при помощи оптических несущих, которые имеют линейную поляризацию, называется уплотнением по

поляризации (PDM – Polarization Division Multiplexing). При всем этом плоскость поляризации любой отдельной несущей обязана находиться под собственным углом. Мультиплексирование осуществляется при помощи особых оптических призм, к примеру, призмы Рошона. Когда в среде нет оптической анизотропии, только в этом случае возможно мультиплексирование, это означает, что у волокна не должно быть локальных изгибов и неоднородностей. Это является одной из причин очень ограниченного использования этого метода уплотнения. В частности, он используется для оптических изолаторов, а еще для оптических волоконных усилителей, применяющиеся в устройствах накачки эрбьевого волокна ради сложения излучения накачки двух лазеров(пары лазеров), излучение которых обладает выраженной поляризацией на подобие вытянутого эллипса.[9]

При применении ВОЛС в данное время широко используется технология WDM/DWDM. WDM – это спектральное уплотнение каналов (англ. Wavelength-division multiplexing, WDM, буквально мультиплексирование с разделением по длине волны) — технология, которая позволяет в одно и тоже время передавать сразу несколько информационных каналов через одно оптическое волокно на разных несущих частотах.

Технология WDM позволяет значительно повысить пропускную способность канала (к 2003 году достигнута скорость 10,72 Тбит/с, а к 2012 — 20 Тбит/с), при этом она дает возможность применять уже проложенные волоконно-оптические линии. С помощью WDM получается организовать двустороннюю многоканальную передачу трафика по одному волокну.

Одно из главных преимуществ DWDM-систем является то, что есть возможность передать высокоскоростной сигнал на сверх дальние расстояния без использования промежуточных пунктов (без регенерации промежуточных усилителей и сигнала). Данные преимущества очень востребованы для передачи данных через малонаселенные пункты.[9]

Необходимость в повышении пропускной способности сетей связи удваивается ежегодно, и данный темп вряд ли замедлится в nearest будущие десять лет. Помимо всего этого, данная необходимость все шире распространяется географически. Снижение тарифов поставщиками, понижение монопольных позиций страны в телекоммуникациях и возрастающий интерес к использованию Интернета приводят лишь к возрастанию спроса на скорость передачи. На данный момент технология DWDM гарантирует самый быстрый и экономичный подъем полосы пропускания, тем самым на практике демонстрируя свою надежность. Во множестве случаях при помощи использования технологии DWDM пропускная способность оптической линии связи может увеличиться в сотни раз. [9]

Сущность технологии спектрального, или же оптического уплотнения содержится в способности организовать множество раздельных сигналов SDH по одному волокну, а значит, многократном повышении пропускной способности линии связи.[9]

Базы данной технологии были заложены в 1958, задолго до выхода в свет самой волоконной оптики. Но прошло около 20 лет, до того как были сделаны 1-ые составляющие мультиплексных систем. Сначала они были созданы ради лабораторных исследований, и только в 1980 году технология спектрального уплотнения (Wavelength Division Multiplexing, WDM) была представлена для телекоммуникаций. Потом еще через 5 лет в исследовательском центре компании AT T была разработана технология плотного спектрального уплотнения (Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM), когда получилось в одном оптическом волокне сделать 10 каналов по 2 Gbps. Это случается аналогично тому, как видимый человечьим глазом свет состоит из разных цветов, на которые можно его разделить, а потом вновь собрать, так и передаваемый по технологии DWDM световой поток, состоит из разных длин волн (рисунок 1.3)

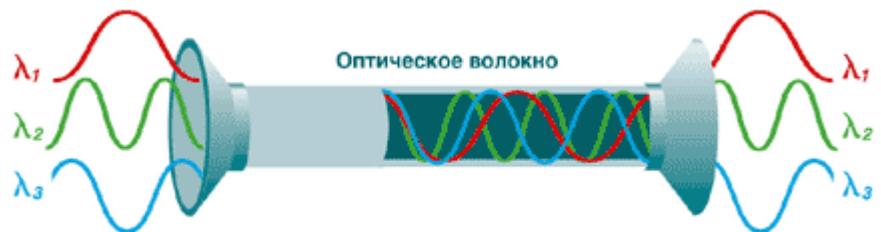


Рисунок 1.3 – Световой поток

То есть по одному волокну можно передавать более сотни стандартных каналов.

Принципиальная схема DWDM достаточно проста. Для того чтобы организовать в одном волокне несколько оптических каналов сигналы SDH «окрашиваются», то есть меняют оптическую длину волны для каждого такого сигнала. «Окрашенные» сигналы смешиваются при помощи мультиплексора и передаются в оптическую линию. В конечном пункте происходит обратная операция - «окрашенные» сигналы SDH выделяются из группового сигнала и передаются потребителю (рисунок 1.4).[10]

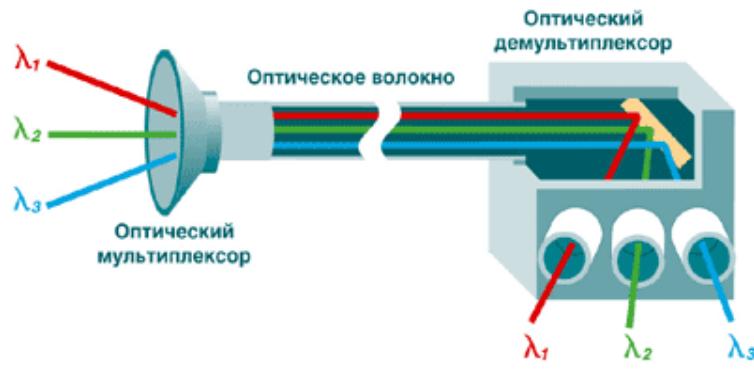


Рисунок 1.4 – Принципиальная схема DWDM

Естественно, что для того чтобы передавать по одному волокну множество волновых потоков, технология DWDM обеспечена оборудованием особой точности. Так, погрешность длины волны, которую обеспечивает стандартный лазер, применяемый в телекоммуникациях, примерно в сто раз больше, чем требуется в системе DWDM.[10]

По мере прохождения по оптическому волокну сигнал постепенно затухает. Для того чтобы его усилить, используются оптические усилители (рисунок 1.5). Это позволяет передавать данные на расстояния до 4000 км без перевода оптического сигнала в электрический (для сравнения, в SDH это расстояние не превышает 200 км). [10]

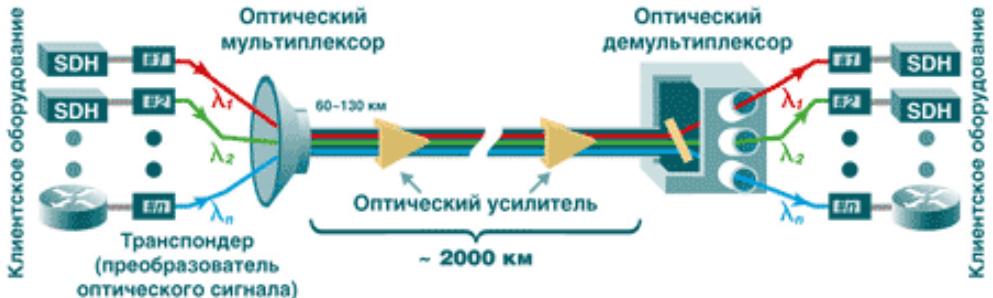


Рисунок 1.5 – Оборудование DWDM

Преимущества DWDM очевидны. Эта технология позволяет получить наиболее масштабный и рентабельный способ расширения полосы пропускания волоконно-оптических каналов в сотни раз. Пропускную способность оптических линий на основе систем DWDM можно наращивать, постепенно добавляя по мере развития сети в уже существующее оборудование новые оптические каналы. [11]

Ширина полосы пропускания связана со скоростью передачи информации. Потери (затухание) определяют расстояние, на которое может передаваться сигнал. По мере того как сигнал перемещается по передающей линии, его амплитуда уменьшается. Это уменьшение амплитуды называется

затуханием. В оптическом кабеле затухание не зависит от частоты и остается постоянным в определенном диапазоне частот, вплоть до очень высоких и, как правило, неиспользуемых частот.[11]

Важнейший результат нечувствительности оптического волокна к наводкам от электромагнитного излучения заключается в том, что световые сигналы не искажаются под влиянием электромагнитных наводок (ЭМН). Цифровая передача предполагает пересылку сигнала без ошибок. Всплеск ЭМН может привести к возникновению пика, в то время как в исходном сигнале никакого пика не было. Таким образом, оптические волокна открывают новые возможности для передачи сигнала без искажений.[11]

Оптическое волокно весит значительно меньше медного проводника. Волоконно-оптический кабель той же информационной ёмкости, что и медный, весит меньше, поскольку последний требует большего количества линий. Волокно является диэлектриком и не проводит ток. Его использование безопасно с точки зрения искро – и пожаробезопасности. Более того, волокно не притягивает молнии.[11]

Волоконно-оптический кабель может также использоваться в опасных местах, в которых из соображений безопасности вообще не применялись кабели. Например, волокно можно проложить прямо через топливный бак.

1.4 Технология DWDM

В настоящее время телекоммуникационная индустрия претерпевает беспрецедентные изменения, связанные с переходом от голосо-ориентированных систем к системам передачи данных, что является следствием бурного развития Internet технологий и разнообразных сетевых приложений. С крупномасштабным развертыванием сетей передачи данных происходит модификация самой архитектуры сетей. Именно поэтому требуются фундаментальные изменения в принципах проектирования, контроля и управления сетями. В основе нового поколения сетевых технологий лежат многоволновые оптические сети, базирующиеся на плотном волновом мультиплексировании DWDM (dense wavelength-division multiplexing).[12]

1.4.1 Описание технологии

Самым важным параметром в технологии плотного волнового мультиплексирования бесспорно является расстояние между соседними каналами. Стандартизация пространственного расположения каналов нужна, уже хотя бы потому, что на ее основе можно будет начинать проведение тестов на взаимную совместимость оборудования разных производителей.

Сектор по стандартизации телекоммуникаций Международного союза по электросвязи ITU-T утвердил частотный план DWDM с расстоянием между соседними каналами 100 ГГц (нм), (табл. 1). В тоже время большие дебаты продолжаются вокруг принятия частотного плана с еще меньшим расстоянием между каналами 50 ГГц (нм). Без понимания того, какие ограничения и преимущества имеет каждый частотный план, операторы связи и организации, планирующие наращивание пропускной способности сети, могут столкнуться со значительными трудностями и излишними инвестициями.[13]

Сетка 100 ГГц.

В таблице 1.1 показаны сетки частотного плана 100 ГГц с различной степенью разреженности каналов. Все сетки кроме одной 500/400 имеют равноудаленные каналы. Равномерное распределение каналов позволяет оптимизировать работу волновых конвертеров, перестраиваемых лазеров и других устройств полностью оптической сети, а также позволяет легче выполнять ее наращивание.[13]

Таблица 1.1 – Частотный план DWDM с расстоянием между соседними каналами 100 ГГц (нм)

Длина волны, нм	Номер канала	Диапазон	Длина волны, нм	Номер канала	Диапазон
1565,5	15	Red-Band	1546,92	38	
1564,68	16		1546,12	39	
1563,86	17		1545,32	40	
1563,05	18		1544,53	41	
1562,23	19		1543,73	42	Blue-Band
1561,42	20		1542,94	43	
1560,61	21		1542,14	44	
1559,79	22		1541,35	45	
1558,98	23		1540,56	46	
1558,17	24		1539,77	47	
1557,36	25		1538,98	48	
1556,55	26		1538,19	49	
1555,75	27		1537,4	50	
1554,94	28		1536,61	51	

1554,13	29		1535,82	52	
1553,33	30		1535,04	53	
1552,52	31		1534,25	54	
1551,72	32		1533,47	55	
1550,92	33		1532,68	56	
1550,12	34		1531,9	57	
1549,32	35		1531,12	58	
1548,51	36		1530,33	59	
1547,72	37		1529,55	60	
–	–	–	1528,77	61	

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

- типа используемых оптических усилителей (кремниевого или фторцирконатного);
- скорости передачи на канал - 2,4 Гбит/с (STM-16) или 10 Гбит/с (STM-64);
- влияния нелинейных эффектов.

Причем все эти факторы сильно взаимосвязаны между собой.

Стандартные EDFA на кремниевом волокне имеют один недостаток - большую вариацию коэффициента усиления в области ниже 1540 нм, что приводит к более низким значениям соотношения сигнал/шум и нелинейности усиления в этой области. Однаково нежелательны как сильно низкие, так и сильно высокие значения коэффициента усиления. С ростом полосы пропускания минимальное допустимое по стандарту соотношение сигнал/шум возрастает - так для канала STM-64 оно на 4-7 дБ выше, чем для STM-16. Таким образом, нелинейность коэффициента усиления кремниевого EDFA сильней ограничивает размер зоны для мультиплексных каналов STM-64 (1540-1560 нм), нежели чем для каналов STM-16 и меньшей ёмкости (где можно использовать практически всю зону усиления кремниевого EDFA, несмотря на нелинейность).[13]

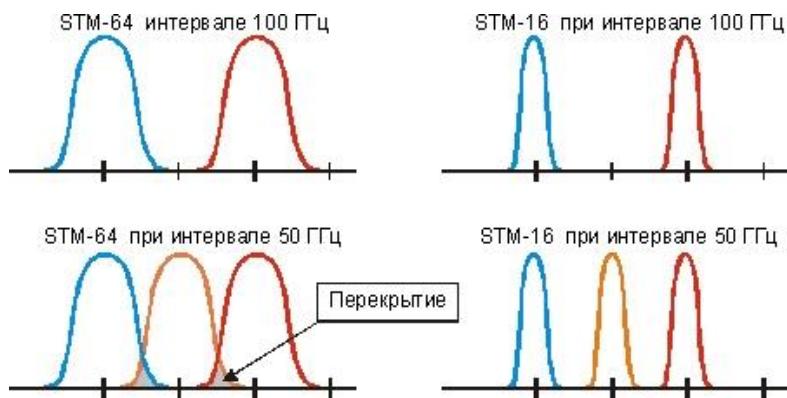


Рисунок 1.6 – Спектральное размещение каналов в волокне

Сетка 50 ГГц.

Более плотный, пока нестандартизированный частотный план сетки с интервалом 50 ГГц позволяет эффективней использовать зону 1540-1560 нм, в которой работают стандартные кремниевые EDFA. Наряду с этим преимуществом у данной сетки есть свои минусы.[13]

Во-первых, с уменьшением межканальных интервалов возрастает влияние эффекта четырехволнового смешивания, что начинает ограничивать максимальную длину межрегенерационной линии (линии на основе только оптических усилителей).[13]

Во-вторых, малое межканальное расстояние ~0,4 нм может ограничить возможность мультиплексирования каналов STM-64. Как видно из рисунка, мультиплексирование каналов STM-64 с интервалом 50 ГГц не допустимо, поскольку тогда возникает перекрытие спектров соседних каналов. Только если имеет место меньшая скорость передачи в расчете на канал (STM-4 и ниже), перекрытия спектров не возникает.[13]

В-третьих, при интервале 50 ГГц требования к перестраиваемым лазерам, мультиплексорам и другим компонентам становятся более жесткими, что снижает число потенциальных производителей оборудования, а также ведет к увеличению его стоимости.[13]

Мультиплексорам DWDM (в отличии от более традиционных WDM) присущи две отличительные черты:

- использование только одного окна прозрачности 1550 нм, в пределах области C-band 1530-1560 нм и L-band 1570-1600 нм;
- малые расстояние между мультиплексными каналами, 0,8 или 0,4 нм.

Кроме этого, поскольку мультиплексоры DWDM рассчитаны на работу с большим числом каналов до 32 и более, то наряду с устройствами DWDM, в которых мультиплексируются (демультиплексируются) одновременно все каналы, допускаются также новые устройства, не имеющие аналогов в системах WDM и работающие в режиме добавления или вывода одного и более каналов в/из основного мультиплексного потока, представленного большим числом других каналов. Так как выходные порты/полюса демультиплексора закреплены за определенными длинами волн, говорят, что такое устройство осуществляет пассивную маршрутизацию по длинам волн. Из-за малых расстояний между каналами и необходимости работы с большим числом каналов одновременно, изготовление мультиплексоров DWDM требует значительно большей прецизионности по сравнению с WDM мультиплексорами (использующими обычно окна прозрачности 1310 нм, 1550

нм или дополнительно область длин волн в окрестности 1650 нм). Также важно обеспечить высокие характеристики по ближним (коэффициент направленности) и дальним (изоляция) переходных помех на полюсах DWDM устройства. Все это приводит к более высокой стоимости DWDM устройств по сравнению WDM.[14]

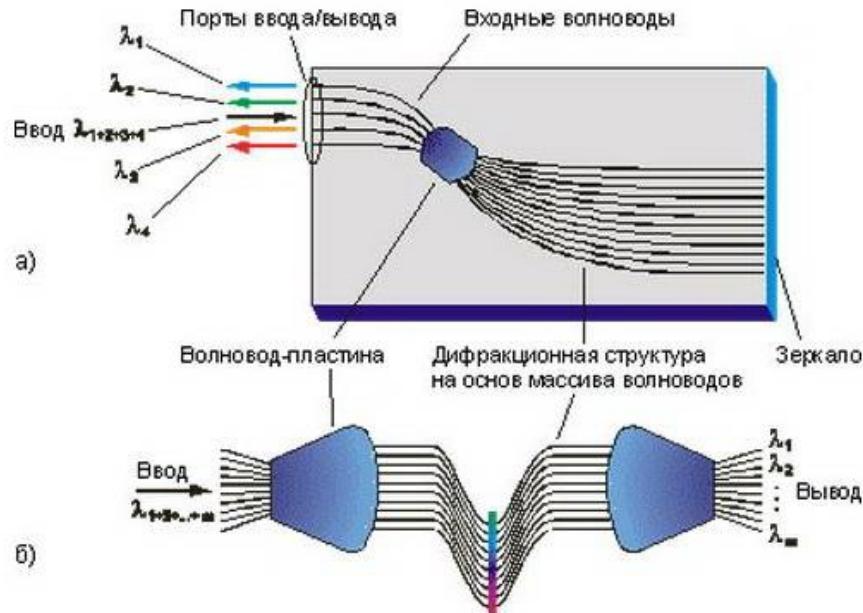


Рисунок 1.7 – Схемы DWDM мультиплексоров: а) с отражающим элементом; б) с двумя волноводами-пластинами

На рисунке 1.7а показана типовая схема DWDM мультиплексора с зеркальным отражательным элементом. Рассмотрим его работу в режиме демультиплексирования. Приходящий мультиплексный сигнал попадает на входной порт. Затем этот сигнал проходит через волновод-пластину и распределяется по множеству волноводов, представляющих дифракционную структуру AWG (arrayed waveguide grating). По-прежнему сигнал в каждом из волноводов остается мультиплексным, а каждый канал остается представленным во всех волноводах. Далее происходит отражение сигналов от зеркальной поверхности и в итоге световые потоки вновь собираются в волноводе-пластине, где происходит их фокусировка и интерференция - образуются пространственно разнесенные интерференционные максимумы интенсивности, соответствующие разным каналам. Геометрия волновода-пластин, в частности расположение выходных полюсов, и длины волноводов структуры AWG рассчитываются таким образом, чтобы интерференционные максимумы совпадали с выходными полюсами. Мультиплексирование происходит обратным путем.[14]

Другой способ построения мультиплексора базируется не на одной а на паре волноводов-пластин, (рисунок 1.7б). Принцип действия такого

устройства аналогичен предыдущему случаю, за исключением того, что здесь для фокусировки и интерференции используется дополнительная пластина.

DWDM мультиплексоры, являясь пассивными устройствами, вносят большое затухание в сигнал. Например, потери для устройства (рисунок 1а), работающего в режиме демультиплексирования составляют 4-8 дБ, при дальних переходных помехах <-20 дБ, и полуширине спектра сигнала 0,05 нм.[14]

1.4.2 Транспондеры и трансиверы

Транспортеры и трансиверы являются устройствами, которые можно использовать для передачи данных на длине волны из сетки DWDM.

Трансиверы DWDM имеют различные форм-факторы, а также могут применяться в пассивных решениях DWDM

Транспортеры, в свою очередь, отличаются от трансиверов тем, что позволяют реорганизовать длину волны излучения оконечного устройства в длину волны DWDM с целью передать в мультиплексор. Оптические сигналы, поступающие на входы оптического мультиплексора, чьи параметры соответствуют определенным рекомендациям G.692 стандартам. У транспондера может быть различное количество оптических выходов и входов. Однако, если оптический сигнал будет подан на какой либо из входов тринспортера, параметры которого установлены по рекомендации G.957, то необходимо чтобы его выходные сигналы по параметрам соответствовали рекомендации G.692. При этом, если т оптического сигнала уплотняется, то длина волны каждого канала на выходе тринспондера должен быть соответствующей только лишь одному из этих волн, в соответствии с сеткой частотного плана ITU.

1.4.3 Применение оптических усилителей

Развитие технологических устройств оптического усиления, в основе которых EDFA крепко изменило волоконно-оптическую систему связи, точнее его методологию конструирования. Повторители – регенераторы используются традиционными волоконно-оптическими системами, которые повышают мощность сигнала, (рисунок 3а). В то время, как длина между удаленными узлами начинает превышать по условиям затухания сигнала Традиционные волоконно-оптические системы используют повторители-регенераторы, повышающие мощность сигнала, максимальную допустимую длину пролета между соседними узлами, дополнительные регенераторы устанавливаются в промежуточных точках, эти регенераторы принимают слабый сигнал. Его усиление происходит в процессе оптоэлектронного

преобразования, восстанавливается скважность, фронты и временные характеристики следования импульсов, и только после того, как преобразуется в оптическую форму, он передается дальше на правильный усилитель сигнала, в том же виде, в каком он был на выходе предыдущего регенератора.

Эта система регенерации работает очень хорошо, но к сожалению они она является очень дорогой и, после того, как установят, не всегда могут наращивать пропускную способность линии.

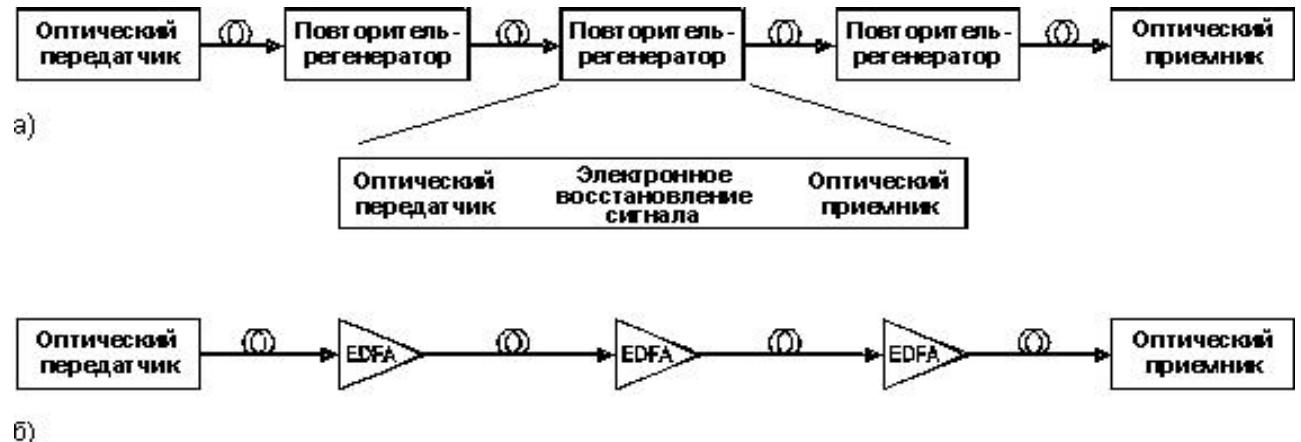


Рисунок 1.9 – Структурные схемы оптических систем связи на основе каскада регенерационных повторителей (а) и каскада оптических усилителей EDFA (б)

Благодаря EDFA потери мощности в линии преодолеваются путем оптического усиления, наглядно представлено на рисунок 1.9б.

В отличии от регенераторов, такое "прозрачное" усиление не зависит от битовой скорости сигнала, благодаря чему можно передавать информацию с более высокими скоростями и увеличивать пропускную способность пока не возникают другие ограничивающие факторы, например хроматическая дисперсия и поляризационная модовая дисперсия.

При помощи добавления еще одного дополнительного измерения в пропускную емкость, можно усилить многоканальный WDM сигнал благодаря усилителю EDFA.

Несмотря на то, что оптический сигнал, который генерируется исходным лазерным передатчиком,

Хотя оптический сигнал, генерируемый исходным лазерным передатчиком и имеет вполне определенную поляризацию, это не влияет на все остальные узлы, которые встречаются на пути следования оптического сигнала, как и оптический приемник, имеют малую зависимость параметров

от направления поляризации. Оптические усилители EDFA имеет огромное преимущество при сравнении их с полупроводниковыми усилителями, одним из главных преимуществ является слабая поляризационная зависимость коэффициента усиления

При сравнении с регенераторами оптические усилители вносят дополнительный шум, и его необходимо учитывать. Важными параметрами EDFA являются коэффициент усиления и коэффициент шума.

1.4.4 Построение сетей DWDM

Городские DWDM сети зачастую строят с использованием кольцевой архитектуры, это дает возможность использовать механизмы защиты при скорости восстановления не более 50 мс на уровне DWDM. Оборудования Metro DWDM предоставляет возможность построения сетевой инфраструктуры на оборудовании нескольких поставщиков с дополнительным уровнем распределения. Этот уровень нужен для того, чтобы организовать обмен трафиком между сетями с оборудованием разных фирм.

Длина волны или оптический канал являются минимальною дискретностью сигнала в технологии DWDM. Для построения больших магистральных или транспортных сетей и обмена трафиком между подсетями выгодно использовать целые длины волн с емкостью канала 2,5 или 10 Гбит/с. Транспондеры-мультиплексоры дают возможность организовать обмен трафиком между подсетями на уровне сигналов STM-4/STM-1/GE. На базе SDH-технологии строится уровень распределения. Одним из значимых преимуществ технологии DWDM связано с прозрачностью служебных каналов и каналов управления. При упаковке SDH/ATM/IP-сигналов в оптический канал структура и содержимое пакетов остаются неизменны. Для контроля правильного прохождения сигнала, система DWDM проводят лишь мониторинг отдельных байтов. На отдельно взятой длине волны подсети, которые были соединены по инфраструктуре системы DWDM, можно считать, как соединение парой оптических кабелей.

В случае использования оборудования разных производителей, две подсети передачи информации одного производителя соединяют через DWDM-сеть другого производителя. Система управления, которая была физически присоединена к другой подсети, может управлять и работать в иной подсети. Если бы на уровне распределения использовалось SDH-оборудование, то такое считалось бы невозможно. Получается, что на базе DWDM сетей есть возможность объединять сети разных производителей для передачи разнородного трафика.[16]

2 Расчет основных параметров

2.1 Расчет необходимого количества каналов

Число каналов для участка Павлодар – Томск рассчитывается исходя из численности населения, проживающего в этих пунктах, также необходимо учитывать прирост населения. В городе Павлодар, по данным переписи за 2013 год – 330,8 тыс. чел., в городе Новосибирск – 547 тыс. чел.[2]

Таким образом, определяется количество населения в этих пунктах, а также окрестностях с учетом среднего прироста:

$$H_{\tau} = H_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta H}{100}\right)^{\tau} \text{чел.}, \quad (2.1)$$

где H_0 – число жителей на время проведения переписи населения, чел.;

ΔH – средний годовой прирост населения в данной местности, %, (принимается (2-3)%);

t – период, определяемый как разность между назначенным годом перспективного проектирования и годом проведения переписи населения, год.

Год перспективного проектирования принимается на 5÷10 лет вперед по сравнению с текущим годом. Если в проекте принять 10 лет вперед, то:

$$t = 10 + (t_n - t_0) , \quad (2.2)$$

где t_n – год составления проекта, $t_n = 2014$ год;

t_0 – год, к которому относятся данные H_0 ; $t_0 = 2013$ год;

$$t = 10 + (2014 - 2013) = 10 + 1 = 11 \text{ лет.}$$

По формуле (2.1) рассчитаем численность населения в городе Павлодар - H_{t_n} , в городе Томск - H_{t_H} ;

$$H_{t_C} = 330800 \cdot \left(1 + \frac{3}{100}\right)^{11} = 457905 \text{ чел.}$$

$$H_{t_H} = 728000 \cdot \left(1 + \frac{3}{100}\right)^{11} = 1007552 \text{ чел.}$$

Учитывая то обстоятельство, что телефонные каналы в междугородной связи имеют превалирующее значение, предварительно необходимо определить количество телефонных каналов между заданными пунктами. Для расчета количества телефонных каналов можно воспользоваться приближенной формулой:

$$N_{\text{тлф}} = \alpha \cdot K_T \cdot y \frac{m_a \cdot m_y}{m_a + m_y} + \beta; \quad (2.3)$$

где α и β - постоянные коэффициенты, соответствующие фиксированной доступности и заданным потерям; обычно потери задаются равными 5%, тогда $\alpha=1,3$; $\beta = 5,6$;

y - удельная нагрузка, то есть средняя нагрузка, создаваемая одним абонентом, $y = 0,15$ Эрл.;

K_T - коэффициент тяготения, колеблется в широких пределах от 0,1 до 12 %. В проекте принимаем $K_T = 12 \%$, т.е. $K_T = 0,12$;

m_a и m_y – количество абонентов, обслуживаемых тем или иным оконечным пунктом, определяется в зависимости от численности населения, проживающего в зоне обслуживания.

Принимая средний коэффициент оснащенности населения телефонными аппаратами равные 0,3, определим количество:

$$m = 0,3 \cdot H_t, \quad (2.4)$$

$$m_C = 0,3 \cdot H_{t_C} = 0,3 \cdot 330800 = 99240 \text{ чел.},$$

$$m_H = 0,3 \cdot H_{t_H} = 0,3 \cdot 728000 = 218400 \text{ чел.}$$

Теперь по формуле (2.3) находим $N_{\text{тлф}}$ на участке Павлодар-Томск:

$$N_{\text{тлф}} = 1,3 \cdot 0,12 \cdot 0,15 \cdot \frac{99240 \cdot 218400}{99240 + 218400} + 5,6 = 1602.$$

Учитывая, что первичный цифровой канал 2Мбит/с состоит из 30 стандартных каналов, получим:

$$\frac{1602}{30} = 54 \times 2 \text{ Мбит/с потоков или } 1602 \text{ каналов.}$$

Рассчитаем количество телефонных каналов и количество потоков между г. Семей и промежуточными пунктами по формуле (2.3)

Для участка Павлодар-Карасук:

$$N_{\text{тлф}} = 1,3 \cdot 0,12 \cdot 0,15 \cdot \frac{99240 \cdot 14052}{99240 + 14052} + 5,6 = 294;$$

$$\frac{294}{30} = 10 \times 2 \text{ Мбит/с потоков};$$

Для участка Павлодар-Краснозерское:

$$N_{\text{тпф}} = 1,3 \cdot 0,12 \cdot 0,15 \cdot \frac{99240 \cdot 2858}{99240 + 2858} + 5,6 = 71;$$

$$\frac{71}{30} = 2 \times 2 \text{ Мбит/с потоков};$$

Для участка Павлодар-Ордынское:

$$N_{\text{тпф}} = 1,3 \cdot 0,12 \cdot 0,15 \cdot \frac{99240 \cdot 3617}{99240 + 3617} + 5,6 = 88;$$

$$\frac{88}{30} = 3 \times 2 \text{ Мбит/с потоков};$$

Для участка Павлодар-Новосибирск:

$$N_{\text{тпф}} = 1,3 \cdot 0,12 \cdot 0,15 \cdot \frac{99240 \cdot 819353}{99240 + 819353} + 5,6 = 2077;$$

$$\frac{2077}{30} = 71 \times 2 \text{ Мбит/с потоков};$$

Для участка Павлодар-Машково:

$$N_{\text{тпф}} = 1,3 \cdot 0,12 \cdot 0,15 \cdot \frac{99240 \cdot 3317}{99240 + 3317} + 5,6 = 81$$

$$\frac{81}{30} = 3 \times 2 \text{ Мбит/с потоков};$$

Для участка Павлодар-Болотное:

$$N_{\text{тпф}} = 1,3 \cdot 0,12 \cdot 0,15 \cdot \frac{99240 \cdot 4861}{99240 + 4861} + 5,6 = 114;$$

$$\frac{114}{30} = 4 \times 2 \text{ Мбит/с потоков};$$

Для участка Павлодар-Юрга:

$$N_{\text{тлф}} = 1,3 \cdot 0,12 \cdot 0,15 \cdot \frac{99240 \cdot 25334}{99240 + 25334} + 5,6 = 478;$$

$$\frac{478}{30} = 16 \times 2 \text{ Мбит/с потоков.}$$

По кабельной линии передачи организуются каналы других видов связи, а также учитываются транзитные каналы.

Общее число каналов определим по данной системе:

$$N = N_{\text{тлф}} + N_B + N_{\text{тр}}, \quad (2.5)$$

где N_B – число каналов ТЧ для передачи сигналов вещания, под вещание отводится 1×2 Мбит/с поток;

$N_{\text{тр}}$ – число транзитных каналов. В число транзитных каналов входят каналы связи областных центров с районными центрами, а также каналы для связи Казахстана с ближним и дальним зарубежьем. Для связи областных центров с районными предусматривается 63×2 Мбит/с потоков.

Итого, для связи на данном направлении необходимо:

$$54 \times 2 \text{ Мбит/с} + 63 \times 2 \text{ Мбит/с} + 1 \times 2 \text{ Мбит/с} = 118 \times 2 \text{ Мбит/с потоков.}$$

Кроме этого, учитывая, что магистраль является частью Центральной ветви Национальной Информационной Супермагистрали (НИСМ) и будет обеспечивать транзитные соединения, необходимо дополнительно:

380×2 Мбит/с потоков, тогда имеем:

$$N = 118 \times 2 \text{ Мбит/с} + 380 \times 2 \text{ Мбит/с} = 498 \times 2 \text{ Мбит/с потоков}$$

Таким образом, учитывая необходимую потребность, на магистрали Павлодар Томск требуется 498×2 Мбит/с потока или 14940 каналов. Проведем еще один анализ:

STM-1 имеет 63×2 Мбит/с потока или 1890 каналов. STM-4 вмещает $63 \times 4 = 252 \times 2$ Мбит/с потока, 7560 каналов. Следующая в иерархии система передачи – STM-16, которая вмещает $63 \times 16 = 1008 \times 2$ Мбит/с потока или 30240 каналов, что вполне достаточно для наших целей.

Исходя из полученного результата для скорости цифрового потока, выбираем уровень STM-16 – 2488,32 Мбит/с и мультиплексор, рассчитанный на требуемую скорость цифрового потока, это позволит оставить запас на дальнейшее развитие сети.

Для организации проектирования на участке Павлодар – Томск, с учетом рассчитанного числа потоков ($498E_1$), необходим мультиплексор уровня STM-16 со скоростью передачи 2488 Мбит/с.

2.2 Выбор оборудования

Аппаратуру и оборудование для систем передачи предлагают многие известные фирмы-изготовители, такие как «Alcatel», «Siemens», «Nortel», «NEC», «Huawei Technologies», «Marconi» и другие. Практически все производители представлены на казахстанском рынке.[17]

Приведем сравнительный анализ мультиплексоров фирм «Huawei Technologies» (OptiX OSN 3500) и «Marconi» (OMS 16-64), наиболее зарекомендовавшие себя на рынке. Технические характеристики приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики мультиплексоров[18]

Параметры	OptiX OSN 3500 «Huawei Technologies»	OMS 16-64 «Marconi»
Коммутационная матрица - на низком уровне -на высоком уровне	5 Гбит/с 58,75 Гбит/с	20 Гбит/с 60 Гбит/с
Интерфейсы		
STM-1 электрические	4 порта на плате	2 порта на плате
STM-1 оптические	Ie-1, I-1, S-1.1, L-1.1, L-1.2, Ve-1.2 4 порта на плате	I-1S-1.1, L-1.1, L-1.2 L-1.3 2 порта на плате
STM-4 оптические	I-4, S-4.1, L-4.1, L-4.2, Ve-4.2 4 порта на плате	I-4, S-4.1, L-4.1, L-4.2, L-4.3 2 порта на плате
STM-16 оптические	I-16, S-16.1, L-16.1, L-16.2, L-16.2Je, V-16.2Je, U-16.2Je и G.692 окрашенный интерфейс 1 порт на плате	I-16, S-16.1, L-16.1, L- 16.2 L-16.3 1 порт на плате
Ethernet	10/100/1000 Мбит/с 2/4 порта на плате	10/100/1000 Мбит/с 2/16 порта на плате
E1	63E1 на плате, максимально в корзине 504E1	32E1 на плате, максимально 504E1
E3	6E3 на плате, максимально 48E3 в корзине	4E3 на плате, максимально 48E3

Кроме этого оба мультиплексора имеют административные интерфейсы управления: один интерфейс удаленного техобслуживания RS232 DCE с доступом по модему, один интерфейс системы сетевого управления, один последовательный интерфейс управления (F&f), 4 последовательных интерфейса (1~4) для прозрачной передачи.

Таблица 2.2 – Стоимость оборудования[18]

Оборудование	Optix OSN 3500, USD	OMS 16-64, USD
Rask – стойка	2328	2446
Subrack – корзина	8536	8982
Power Interfase - плата питания	101	242
System Control and Communication– плата контроля	2147	2856
General Cross-connect and Synchronous	8175	14282
System Auxiliary Interfase	1218	1342
Оптические платы		
STM-16 Optical Interfase (L-16.2)	11063	12344
STM-4 Optical Interfase (L-4.1)	3752	3800
STM-4 Optical Interfase (L-4.2)	4342	4655
STM-1 Optical Interfase (S-1.1)	1865	2008
STM-1 Optical Interfase (L-1.1)	2102	2442
STM-1 Optical Interfase (L-1.2)	2243	3012
Трибутарные платы		
63E1 Service Processing	3275	3106
E3 Service Processing	1640	1842
Fast Ethernet Processing 10/100/1000	4557	6523
32xE1/T1 Electrical Interfase	263	432
3xE3 PDH Interfase	414	698

Как видно из таблиц 2.1 и 2.2 при практически одинаковых технических характеристиках экономически выгоднее оборудование компании «Huawei Technologies». Кроме того на интерфейсных картах у «Huawei Technologies» большее число портов, что ведет к уменьшению числа слотов для установки. Главными достоинствами сетей реализованных на оборудовании «Huawei Technologies» являются:

- высокая надежность, за счет использования современных методов защиты, как оборудования так и трафика;
- простота обслуживания и развитие сети, модульный принцип построения оборудования и программного обеспечения;

- полное соответствие рекомендациям ITU-T, ETSI;
- удобство обслуживания, наличие сервисных центров фирмы на территории России.

На основании вышесказанного выберем оборудование компании «Huawei Technologies».

Мультиплексор OptiX OSN 3500 является мультиплексором уровня STM-16. Возможно использование данной системы в режимах мультиплексора ввода/вывода, оконечного (терминального) мультиплексора, регенератора. Устройство обеспечивает транспортировку голосового и информационного трафика с высокой пропускной способностью и применяется в транспортных и магистральных сетях.[18]

В системе OptiX OSN 3500 широкий набор интерфейсов: STM-16 – максимально 8 портов в «корзине», STM-4 – максимально 46 портов, STM-1 – максимально 92 порта, Fast Ethernet – максимально 92 порта в подстэтиве, Gigabit Ethernet – максимально 30 портов, E3 – максимально 48 портов, E1 – максимально 504 портов в подстэтиве.[18]

Для соединения волоконно-оптических кабелей, несущих сигнал STM-16 к удаленному сетевому элементу SDH, используются агрегатные интерфейсы.

Используем интерфейс на 1550 нм большой дальности действия. В таблице 2.3 приведены параметры оптического интерфейса.

Таблица 2.3 – Параметры оптического интерфейса

Уровень SDH	STM-16
Скорость передачи, кбит/с	2488320
Код интерфейса	L-16.2
Рабочий диапазон, нм	1530...1570
Характеристики оптического передатчика (точка S)	
Источник излучения	Лазер DFP (SLM)
Ширина спектра излучения на уровне -20 дБм, нм	0,5
Минимальный коэффициент подавления боковой моды, дБ	30
Максимальная излучаемая мощность, дБм	0
Минимальная излучаемая мощность, дБм	-4
Характеристики оптического приемника (точка R)	
Минимальная чувствительность, дБм	-26
Максимальная перегрузка, дБм	-9

Дополнительное затухание оптического тракта, дБ	2
Характеристики оптического тракта (между точками S и R)	
Диапазон оптического затухания, дБ	9...20
Дисперсия, пс/нм	1400
Допустимые потери в кабеле, дБ	24

2.3 Выбор кабеля

В настоящее время существует несколько видов прокладки оптического кабеля. Они отличаются условиями и способами прокладки, кроме этого для каждого вида прокладки используется специальный тип кабеля.

Вот основные виды прокладки оптического кабеля:

- прокладка оптического кабеля внутри помещений;
- прокладка оптического кабеля в канализации;
- прокладка оптического кабеля в грунте;
- прокладка оптического кабеля воздушной (ВКП - воздушно-кабельный переход).

Выбор оптического кабеля (ОК) обуславливается условием прокладки ОК, типом волокна, а также числом волокон. В нашем случае кабель прокладывается в грунт, а также предусмотрены переходы через реки.

Характерными особенностями конструкции оптического кабеля должны быть:

- малые размеры и масса;
- большая строительная длина (4 - 6 км и более);
- малая величина километрического затухания;
- отсутствие необходимости содержания оптического кабеля под избыточным воздушным давлением;
- стойкость к электромагнитным (гроза, ЛЭП и др.) воздействиям.

Этим требованиям удовлетворяет оптический кабель с броней из круглых стальных проволок для подземной прокладки типа ОКЛК-01, выпускаемые ЗАО "Самарская оптическая кабельная компания". Кабель типа ОКЛК-01 (рисунок.2.1) предназначен для прокладки в трубах, коллекторах, кабельной канализации, грунтах всех категорий, на мостах, через болота, несудоходные реки.[18]

Таблица 2.4 – Характеристики кабеля ОКЛК-01

Параметр	Значение
Количество ОВ	2-144
Диаметр кабеля, мм	15,0-28,5
Вес, кг/м	300-1800
Допустимое раздавливающее усилие, Н/см, не менее	1000

Допустимое растягивающее усилие, кН	7,0-8,0
Диапазон рабочей температуры	40 ⁰ ...+50 ⁰



Рисунок 2.1 - Кабель типа ОКЛК-01

Центральный силовой элемент (ЦСЭ) представляет собой стеклопластиковый стержень.

Оптический модуль: пластмассовые трубы с четырьмя окрашенными одномодовыми оптическими волокнами, заполненными гидрофобным компаундом.

Кордель – заполнитель, полиэтиленовые стержни.

Сердечник, оптические модули и кордели – заполнители скручены вокруг ЦСЭ; пустоты сердечника заполнены гидрофобным компаундом.

Защита от влаги – водоблокирующая лента, наложенная продольно на сердечник кабеля. Промежуточная оболочка полиэтиленовая, толщиной не менее 1 мм.

Броня – повив круглых оцинкованных стальных проволок с заполнением гидрофобным компаундом.

Заделка – светостабилизированный полиэтилен, номинальной толщиной не менее 2,2 мм, пустоты в повиве бронепроволок заполнены гидрофобным компаундом.

2.4 Выбор оптического волокна.

Оптическое волокно, используемое в оптических кабелях связи, обладает емкостью полумиллиона телефонных разговоров или 600 ТВ

цифровых каналов одновременно. Секрет такой емкости в чистоте кварцевого стекла, используемого для оптического волокна. Волокно состоит из сердечника, образованного легированным кварцевым стеклом, окруженного отражающей оболочкой из чистого кварцевого стекла. Слои акрилата защищают волокно и предохраняют от проникновения влаги и агрессивных химических соединений. Чистота и различные оптические свойства отражающей оболочки и сердечника позволяют направлять свет по волокну на расстояние, превышающее 300 км без усиления.[18]

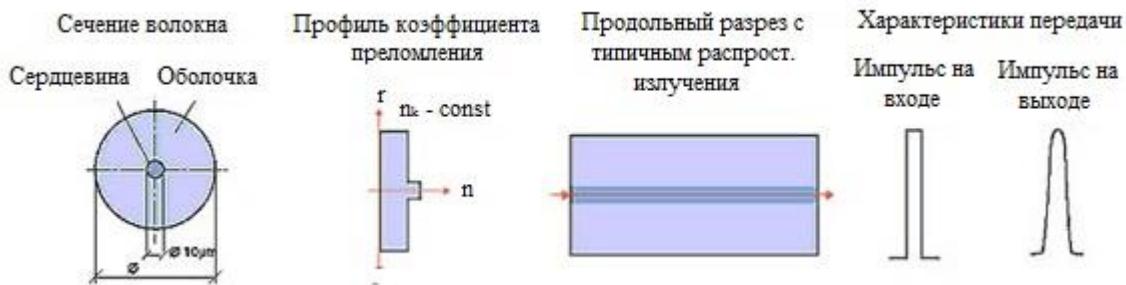


Рисунок 2.2 - Одномодовое оптическое волокно.

Одномодовое оптическое волокно со смещенной дисперсией (по рекомендации G.653 МСЭ-Т). Предназначено для магистральных волоконно-оптических линий связи, работающих в С-диапазоне (длина волны 1550 нм).

Таблица 2.5 – Технические характеристики

Параметры	Ед. изм	FutureGuide-DS
Диаметр модового пятна на длине волны 1310 нм	Мкм	8.2±0.8
Затухание на длине волны 1550 нм	дБ/км	0.22
Зависимость коэффиц. затухания от длины волны, в диапазоне длин волн 1525-1575 нм	дБ/км	0.05
Длина волны отсечки	Нм	1260
Хроматическая дисперсия на длине волны 1550 нм, не более	пс/(нм*км)	0,3÷3
Наклон кривой в точке нулевой дисперсии	пс/(нм*нм*км)	0.085
Длина волны нулевой дисперсии	Нм	1550
Максимальное относительное удлинение	%	1.0

Оптическое волокно со смещенной дисперсией имеет диаметр сердцевины 10 мкм и диаметр оболочки 125 мкм (рис.2.2).

В этом волокне существует и распространяется только одна мода (точнее две вырожденные моды с ортогональными поляризациями), поэтому в нем отсутствует межмодовая дисперсия, что позволяет передавать сигналы со скоростью до 2,5 Гбит/с и выше без регенерации.

2.3 Расчет длины регенерационного участка

Длина регенерационного участка определяется суммарным затуханием регенерационного участка и дисперсией оптического кабеля. Суммарное затухание состоит из потерь мощности непосредственно в оптическом волокне и из потерь в разъемных и неразъемных соединениях.

Суммарные потери регенерационного участка, дБ, можно рассчитать по формуле

$$\alpha_{\Sigma} = n_{p.c} \cdot \alpha_{p.c} + n_{h.c} \cdot \alpha_{h.c} + \alpha_t + \alpha_b, \quad (2.6)$$

где $n_{p.c}$ – количество разъемных соединителей (16);

$\alpha_{p.c}$ – потери в разъемных соединениях (0,25 дБ);

$n_{h.c}$ – количество неразъемных соединений;

$\alpha_{h.c}$ – потери в неразъемных соединениях (0,02 дБ);

α_t – допуск на температурные изменения затухания ОВ (1 дБ);

α_b – допуск на изменение характеристик компонентов РУ со временем (5 дБ);

Количество неразъемных соединений рассчитывается по формуле:

$$n_{h.c.} = \frac{L_{OPP}}{l_{c.d.}} - 1 \quad (2.7)$$

где L_{OPP} – расстояние между ОРП, км;

$l_{c.d.}$ – строительная длина кабеля – 4 км.

$$n_{h.c.1} = \frac{203}{4} - 1 = 49$$

$$n_{h.c.2} = \frac{89}{4} - 1 = 21$$

$$n_{h.c.3} = \frac{190}{4} - 1 = 46$$

$$n_{h.c.4} = \frac{104}{4} - 1 = 25$$

$$n_{h.c.5} = \frac{62}{4} - 1 = 14$$

$$n_{H.C.6} = \frac{73}{4} - 1 = 17$$

$$n_{H.C.7} = \frac{41}{4} - 1 = 9$$

$$n_{H.C.8} = \frac{99}{4} - 1 = 23$$

$$\sum n_{H.C.} = 49 + 21 + 46 + 25 + 14 + 17 + 9 + 23 = 204$$

$$a_{\Sigma} = 16 \cdot 0,25 + 204 \cdot 0,02 + 1 + 5 = 13,98 \text{ дБ.}$$

Длину регенерационного участка, км, с учетом потерь мощности можно определить по формуле:

$$l_{py} \leq \frac{\mathcal{E}_{\Pi} - \alpha_{\Sigma}}{\alpha}, \quad (2.8)$$

где α - коэффициент затухания ОВ (0,22 дБ);

\mathcal{E}_{Π} – энергетический потенциал волоконно-оптической системы передачи (30 дБ);

$$l_{py} \leq \frac{30 - 13,98}{0,22} = 74 \text{ км.}$$

Таблица 2.6 – Обслуживаемые регенерационные пункты на проектируемом участке

Обслуживаемый пункт	Город
ОП-1	Павлодар
ОРП-2	Карасук
ОРП-3	Краснозерское
ОРП-4	Ордынское
ОРП-5	Новосибирск
ОРП-6	Мошково
ОРП-7	Болотное
ОРП-8	Юрга
ОП-9	Томск

Из выполненных расчетов видно, что $l_{py} = 74$ км, а длина отдельных участков превышает это значение. Значит на этих участках необходимо установить оптические усилители. Согласно требованиям, которые предъявляются к сети, оптический усилитель OLA используется для увеличения расстояния передачи оптических сигналов DWDM.

Расчет участка регенерации по дисперсии

Расчет элементарного кабельного участка (ЭКУ) по дисперсии выполняется при проектировании новых линий связи с целью определения расстояний, через которые устанавливаются регенераторы. В данном дипломном проекте предполагается, что проектируемая сеть DWDM привязывается к существующей сети SDH. Поэтому, нужно предусмотреть меры по компенсации накопленной по длине волоконно-оптической линии связи полной дисперсии.

Полное значение дисперсии определяется, как сумма хроматической и поляризационной модовой дисперсии:

$$T_D = \tau_{CHR} + \tau_{PMD} \quad (2.9).$$

В одномодовых световодах поляризационная модовая дисперсия отсутствует, и уширение импульса определяется хроматической дисперсией. τ_{CHR} – полное значение хроматической дисперсии для волоконно-оптической линии связи. Значение хроматической дисперсии может быть получено по формуле:

$$\tau_{CHR} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L, \quad (2.10)$$

где: $D(\lambda)$ – коэффициент хроматической дисперсии оптического волокна – 3,5 пс/нм·км;

$\Delta\lambda$ – ширина полосы лазерного излучения - 0,5 нм;

L – протяженность линии связи (км), $L=861$ км – Павлодар – Томск.

Подставляя данные значения в формулу (2.10), получим значение полной хроматической дисперсии на направлении Павлодар – Томск при организации сети DWDM по стандартным оптическим волокнам согласно рекомендации G.652:

$$\tau_{CHR} = D(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot L = 2,5 \cdot 0,5 \cdot 861 = 1076,25 \text{ пс.}$$

Оцениваем среднеквадратичное удельное уширение импульса:

$$\sigma_y = \frac{\sigma}{L} = \frac{1076,25}{861} = 1,25 \text{ нс/км.}$$

С учетом дисперсии оптического волокна длина регенерационного участка составит:

$$l_{py_{max}} = \frac{0,25}{\tau \cdot B}, \quad (2.11)$$

где B – требуемая скорость передачи информации, бит/с;
 τ – значение среднеквадратичное удельное уширение импульса, с/км.

$$l_{py_{max}} = \frac{0,25}{1,25 \cdot 10^{-12} \cdot 2,5 \cdot 10^9 \text{бит/с}} = 80 \text{км}$$

Таким образом, длина регенерационного участка, рассчитанная по формуле (2.11), должна удовлетворять требованию:

$$l_{py_{max}} \geq l_{py} \quad (2.12)$$

Проверим соответствие полученной длины регенерационного участка выражению (2.12):

$$80 \text{км} \geq 74 \text{км}$$

Сравнивая регенерационную длину участка по затуханию и дисперсии, выбираем минимальное значение.

2.6 Составление схемы организации связи

Рассмотрим наиболее выгодный вариант прокладки кабеля связи вдоль автомобильной дороги:

Таблица 2.8 – Прокладка трассы ВОЛС вдоль автодороги:

Участок	Расстояние м/у участками, км	Расстояние от Павлодара, км
Павлодар – Карасук	203	203
Карасук – Краснозерское	89	292
Краснозерское – Ордынское	190	482
Ордынское – Новосибирск	104	586
Новосибирск – Мошково	62	648
Мошково – Болотное	73	721
Болотное – Юрга	41	762
Юрга – Томск	99	861

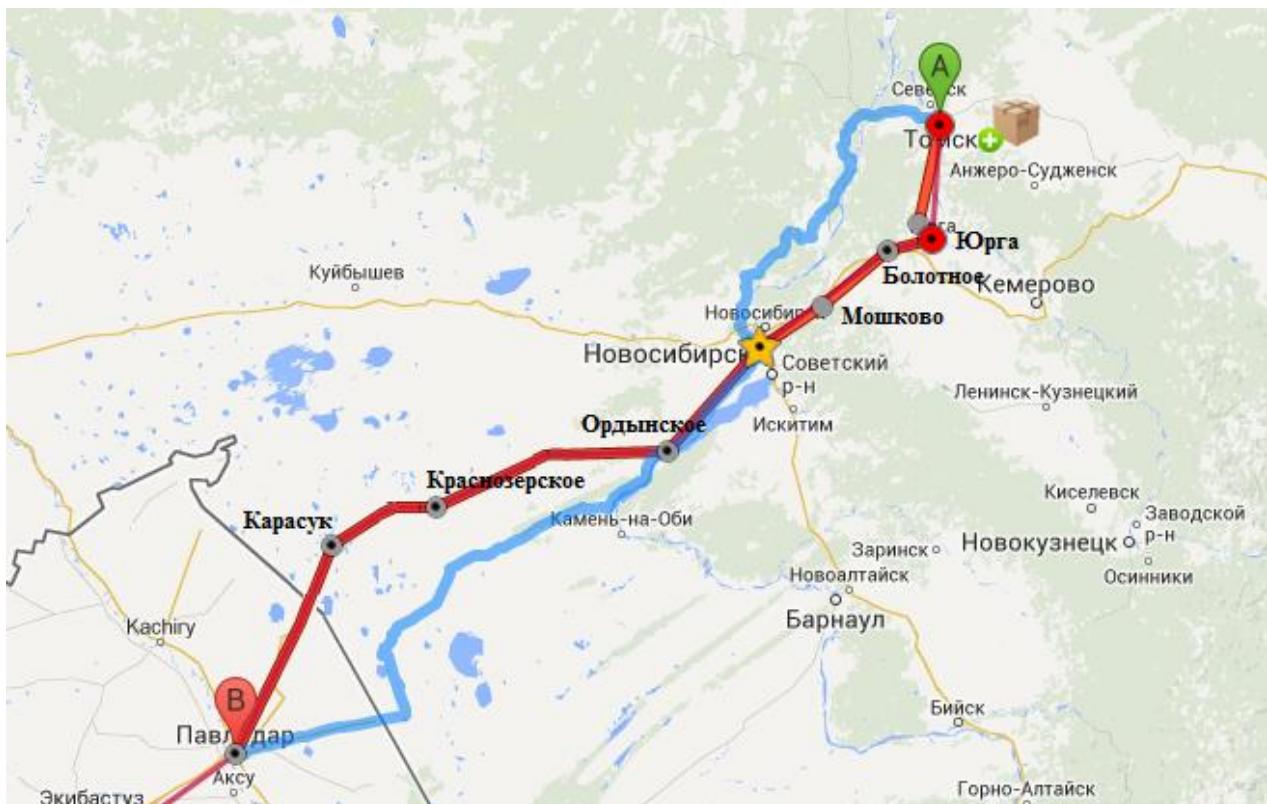


Рисунок 2.3 – Общий план расположения трассы кабельной связи

Для заданной трассы наиболее применима топология «точка-точка». Так как, несмотря на свою простоту, именно эта базовая топология наиболее широко используется при передаче больших потоков данных по высокоскоростным магистральным каналам.

Соединение узлов А и В с помощью терминальных мультиплексоров ТМ является наиболее простым примером организации сети SDH. Основной и резервный (электрические или оптические) агрегатные выходы формируют систему резервирования типа 1+1. При отказе основного канала сеть автоматически переходит на резервный канал.

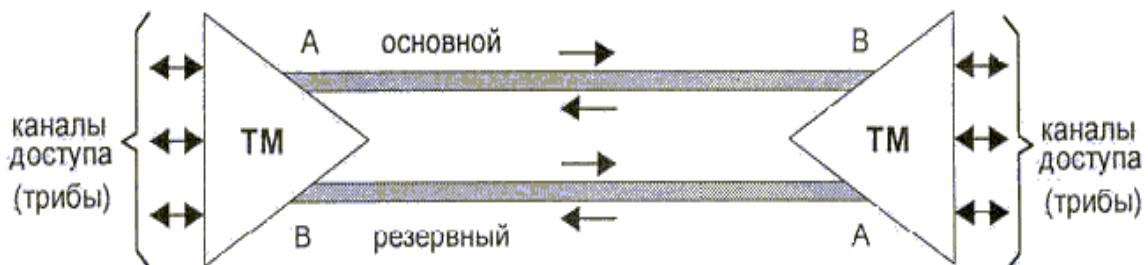


Рисунок 2.4 – Топология «точка-точка», реализованная с

использованием терминальных мультиплексоров ТМ

Топологию «точка-точка» с резервированием можно рассматривать и как упрощенный вариант топологии «кольцо».

2.7 Схема связи

При построении схемы организации проектируемой трассы учитывается длина регенерационного участка. Так как при расчетах длина регенерационного участка равна 74 км, то между пунктами, в которых расстояние превышает данное значение, устанавливаются оптические усилители. Схема представлена в приложении А.

В трех крупных городах Павлодар, Томск и Новосибирск устанавливаю мультиплексор уровня STM-16 со скоростью передачи 2488 Мбит/с. В остальных населенных пунктах с учетом рассчитанного числа потоков, были выбраны мультиплексоры ввода-вывода уровней STM-1 и STM-4. Схема представлена в приложении Б.

2.8 Расчет апертуры

Важнейшим обобщённым параметром волоконного световода является апертура.

Апертура – это угол между оптической осью и одной из образующих светового конуса, попадающего в торец волоконного световода, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения.

Рассчитаем показатель преломления оболочки n_2 , исходя из оптических характеристик кабеля числовая апертура $NA = 0,13$

Известно что:

$$NA = \sqrt{n_1^2 + n_2^2}, \quad (2.13)$$

где n_1 – показатель преломления сердцевины, 1,4681.

Тогда определим n_2 :

$$n_2 = \sqrt{n_1^2 + NA^2}; \quad (2.14)$$

$$n_2 = \sqrt{1,4681^2 + 0,13^2} = \sqrt{2,1553 + 0,0169} = 1,4623.$$

Зная показатели преломления оболочки n_2 и сердцевины n_1 , рассчитаем относительную разность показателей преломления Δ :

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}; \quad (2.15)$$

$$\Delta = \frac{1,4681 - 1,4623}{1,4681} = 0,00395 \approx 0,395\%.$$

Важнейшим обобщённым параметром волоконного световода, используемым для оценки его свойств, является нормированная частота V . Она, получается, по следующей формуле:

$$V = \frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot NA}{\lambda}; \quad (2.16)$$

$$V = 2 \cdot 3,14 \cdot 4,5 \cdot 10^{-6} \frac{0,13}{(1,55 \cdot 10^{-6})} = 2,37$$

где a – радиус сердцевины оболочки, $a = 4,5$ мкм;

n_1 – показатель преломления сердцевины, $n_1 = 1,4681$;

n_2 – показатель преломления оболочки, $n_2 = 1,4623$.

Произведем расчет параметров кабеля, исходя из того, что мы имеем одномодовые волокна со ступенчатым профилем показателя преломления с диаметром сердцевины $2a = 9$ мкм и критической длиной волны $\lambda = 1250$ нм, диаметр поля моды $2\omega_0$ при длине волны 1550нм.

$$2\omega_0 \approx \frac{2,6 \cdot \lambda}{V_c \cdot \lambda_c} \cdot 2a, \quad (2.17)$$

где λ - рабочая длина волны, нм;

λ_c – критическая длина волны, выше которой в световоде направляется только основная мода;

V_c – критическая нормированная частота, для одномодового режима $V_c=2,405$.

$$\lambda = 1550 \text{ нм: } 2\omega_0 \approx \frac{2,6 \cdot 1550}{2,405 \cdot 1250} \cdot 9 = \frac{36270}{3006,25} = 12 \text{ мкм.}$$

Это значит, что можно выбирать ОВ с диаметром сердцевины до 12 мкм.

Режим полного внутреннего отражения предопределяет условие подачи света на входной торец волоконного световода. Световод пропускает лишь

свет, заключённый в пределах телесного угла θ_a , величина которого обусловлена углом полного внутреннего отражения θ_b . Этот телесный угол θ_a характеризуется числовой апертурой:

$$NA = \sin \theta_a = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2)} = \sqrt{(1,4681^2 - 1,4623^2)} = 0,13.$$

$$\theta_a = 7,41^\circ,$$

что является нормой для одномодого волокна.

Между углами полного внутреннего отражения θ_b и апертурным углом падения луча θ_a имеется взаимосвязь. Чем больше угол θ_b , тем меньше апертура волокна θ_a . Следует стремится к тому, чтобы угол падения луча на границу сердечник - оболочка wp был больше угла полного внутреннего отражения θ_b и находился в пределах от θ_b до 90 градусов, а угол ввода луча в торец световода w укладывался в апертурный угол θ_a ($w < \theta_a$).

Найдем критический угол θ_c , при котором еще выполняется условие полного внутреннего отражения:

$$\theta_c = \sqrt{\left(1 - \frac{n_2}{n_1}\right)^2}; \quad (2.18)$$

$$\theta_c = \sqrt{\left(1 - \frac{1,4623}{1,4681}\right)^2} = 3,951 \cdot 10^{-3} \text{ рад} \approx 0,225^\circ$$

2.9 Расчет показателей надежности

Надежность – свойство сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения. Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от условий строительства и эксплуатации может включать различные свойства или их сочетания. В соответствии с руководящим техническим материалом «Линии передачи волоконно-оптические на магистральных и внутризоновых первичных сетях России» при проектировании ВОЛП должны быть заданы требования по надежности:

- коэффициент готовности Кг (тем выше, чем ниже плотность повреждений и меньше время их устранения);
- срок службы – календарная продолжительность рабочего состояния кабеля с момента ввода в эксплуатацию до момента перехода в предельное состояние, то есть в состояние, при котором дальнейшая

эксплуатация ОК недопустима или нецелесообразна. В среднем срок службы ОК равен 25 годам;

– среднее время восстановления Тв (время устранения отказов ОК).

Требуемыми показателями надежности аппаратуры линейного тракта магистральной первичной сети СМП с максимальной протяженностью $L = 12500$ км без резервирования являются [19]:

1. Коэффициент готовности $K_g = 0,92$;

2. Среднее время между отказами $T_0 > 40$ часов;

3. Время восстановления ОК $T_v < 10$ часов (в том числе время подъезда

3,5 ч).

$$\mu = 0,34, \quad (2.19)$$

где μ – среднее число (плотность) отказов ОК за счет внешних повреждений на 100 км кабеля в год (по статистике повреждений на коаксиальный кабель равно 0,34).

Интенсивность отказа за 1 час на 329 км трассы определяется по формуле

$$\lambda_k = \frac{\mu \cdot L}{8760 \cdot 100}, \quad (2.20)$$

где $L = 329$ км – длина кабеля;

8760 – количество часов в году.

$$\lambda_k = \frac{0,34 \cdot 329}{8760 \cdot 100} = 1,28 \cdot 10^{-4}$$

Интенсивность отказа линейного тракта $\lambda_{LT}, 1/\text{ч}$ определяется по формуле (7.3):

$$\lambda_{LT} = \lambda_k + \lambda_{OP} \cdot n_{OP} + \lambda_{HP} \cdot n_{HP}, \quad (2.21)$$

где $\lambda_{OP} = 30 \cdot 10^{-6}$ – интенсивность отказов на ОП в час;

$n_{OP} = 2$ – количество ОП;

$\lambda_{HP} = 1,5 \cdot 10^{-6}$ – интенсивность отказов на НРП в час

$n_{HP} = 2$ – количество НРП;

$$\lambda_{LT} = 1,28 \cdot 10^{-4} + 30 \cdot 10^{-6} \cdot 2 + 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2 = 1,91 \cdot 10^{-4} \quad 1/\text{ч}$$

Наработка на отказ линейного тракта $T_{ЛТ,Ч}$ определится по формуле (2.19):

$$T_{ЛТ} = \frac{1}{\lambda_{ЛТ}} \quad (2.22)$$

$$T_{ЛТ} = \frac{1}{1,91 \cdot 10^{-4}} = 5,24 \cdot 10^3 \text{ ч}$$

Среднее время восстановления линейного тракта $T_{ВЛТ}$, ч определится по формуле (2.20):

$$T_{ВЛТ} = \frac{\lambda_k \cdot 1_k \cdot T_{ВК} + \lambda_{оп} \cdot n_{оп} \cdot T_{ВОП} + \lambda_{нрп} \cdot n_{нрп} \cdot T_{ВНРП}}{\lambda_{ЛТ}}, \quad (2.23)$$

где $T_{ВК} = 10$ ч – среднее время восстановления одного километра кабеля;
 $T_{ВОП} = 0,5$ ч – среднее время устранения повреждения на ОП;
 $T_{ВНРП} = 2,5$ ч - среднее время устранения повреждения на НРП.

$$T_{ВЛТ} = \frac{1,28 \cdot 10^{-4} \cdot 10 + 30 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 0,5 + 1,5 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 2,5}{5,24 \cdot 10^3} = 2,5 \cdot 10^{-7} \text{ ч}$$

Коэффициент простоя $K_{п}$ определится по формуле (7.6):

$$K_{п} = \frac{T_{ВЛТ}}{T_{ЛТ} + T_{ВЛТ}} \quad (2.24)$$

$$K_{п} = \frac{2,5 \cdot 10^{-7}}{5,24 \cdot 10^3 + 2,5 \cdot 10^{-7}} = 4,771 \cdot 10^{-11}$$

Коэффициент готовности линейного тракта K_r определится по формуле (2.22):

$$K_r = \frac{T_{ЛТ}}{T_{ЛТ} + T_{ВЛТ}} \quad (2.25)$$

$$K_r = \frac{5,24 \cdot 10^3}{5,24 \cdot 10^3 + 2,5 \cdot 10^{-7}} = 0,9999999995$$

Рассчитанный коэффициент готовности K_r соответствует заданному в исходных данных. Одним из основным преимуществ технологии DWDM является возможность такой организации сети при которой достигается высокая надежность ее функционирования, обусловленная не только надежностью оборудования и надежностью среды передачи, но и возможностью сохранения или работоспособности сети даже в случае отказа одного из ее элементов или среды передачи.

Основной метод обеспечения быстрого восстановления работоспособности синхронных сетей – организация самовосстанавливающихся сетей, резервируемых по схеме 1+1. На проектируемом участке ст. Павлодар – Томск за счет применения данного способа резервирования достигается высокая надежность транспортной сети.

2.10 Программа на алгоритмическом языке Delphi

Расчет параметров оптоволокна

```
unit VOSP;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls, Buttons;
type
  TForm01 = class(TForm)
    GroupBox01 : TGroupBox;
    Label01 : TLabel;
    Button01 : TButton;
    GroupBox02 : TGroupBox;
    Label02 : TLabel;
    Button02 : TButton;
    Label03 : TLabel;
    GroupBox03 : TGroupBox;
    Label04 : TLabel;
    Button03 : TButton;
    Label05: TLabel;
    BitBtn01: TBitBtn;
    procedure Button01Click (Sender : TObject);
    procedure Button02Click (Sender : TObject);
    procedure Button03Click (Sender : TObject);
  end;
```

```

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form01: TForm01;
implementation
uses Vosp01, Vosp02, Unit04;
{$R *.DFM}
procedure TForm01.Button01Click(Sender: TObject);
begin
  form01.hide;
  form02.show;
  form02.Button01.Enabled:=true
end;

procedure TForm01.Button02Click(Sender: TObject);
begin
  form01.Hide;
  form03.show
  end;

procedure TForm01.Button03Click(Sender: TObject);
begin
  form01.hide;
  form04.show
end;
end.
```

Расчет длины регенерационного участка

```

unit Vosp01;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls,math;
type
  TForm02 = class(TForm)
    GroupBox01: TGroupBox;
    Label01: TLabel;
    Edit01: TEdit;
    Label02 : TLabel;
    Edit02 : TEdit;
```

```

Label03 : TLabel;
Edit03 : TEdit;
Label04 : TLabel;
Edit04 : TEdit;
Button01 : TButton;
GroupBox02 : TGroupBox;
Lab
El06: TLabel;
Edit06 : TEdit;
Label07 : TLabel;
Edit07 : TEdit;

Label08 : TLabel;
Edit08 : TEdit;
Label09 : TLabel;
Edit09 : TEdit;
Label01 : TLabel;
Label01: TLabel;
Edit05: TEdit;
Edit10 : TEdit;
Edit03 : TEdit;
Edit04 : TEdit;
Edit05
3 : TEdit;
Edit04 : TEdit;
Label05 : TLabel;
Label012 : TLabel;
Label103: TLabel;
Label104: TLabel;
Button02: TButton;
procedure Button01Click(Sender: TObject);
procedure Button02Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form02: TForm02;
implementation
uses VOSP;
{$R *.DFM}
procedure TForm02.Button01Click(Sender: TObject);
var

```

```

na,v,acc,sm,ob,p,n,delta,k,ma,f,me,h,h1: real;
ai,li:array [1 .. 3] of real;
i : integer;
begin
  button01.Enabled:=false;
  na := sqrt(strtofloat(edit01.text)*strtofloat(edit01.text)-
strtofloat(edit02.text)*strtofloat(edit02.text));
  na:=arcsin(na);
  v:=(pi*strtofloat(edit03.text)*na)/strtofloat(edit04.text);
  acc:=(pi*strtofloat(edit03.text)*na)/02.0405;
  ob:= 0.080+0.5490*sqr(2.8340-v);
  delta:=(strtofloat(edit01.text)-strtofloat(edit02.text))/strtofloat(edit01.text);
  p:=(strtofloat(edit02.text)*delta)/(strtofloat(edit04.text)*300000000);
  h:=0;
  ai[1]:=0.0000000691116;
  ai[2]:=0.0000000399166;
  ai[3]:=0.0000000890423;
  li[1]:=0.000000068227;
  li[2]:=0.0000000116460;
  li[3]:=0.000000599662;
  while (k > -2.15)or(k<-5.5) do
    begin
      for i:=1 to 3 do
        begin
          ma:=ma+((ai[i]+h1)*(li[i]+h))*(3*(strtofloat(edit04.text)*strtofloat(edit04.text))-
            +(li[i]+h)*(li[i]+h))/((strtofloat(edit04.text)*strtofloat(edit04.text)-
            (li[i]+h)*(li[i]+h)*(strtofloat(edit04.text)*strtofloat(edit04.text)-
            (li[i]+h)*(li[i]+h)))*(strtofloat(edit04.text)*strtofloat(edit04.text)-
            (li[i]+h)*(li[i]+h))));;
          me:=me+((ai[i]+h1)*(li[i]+h))/((strtofloat(edit04.text)*strtofloat(edit04.text))-
            (li[i]+h)*(li[i]+h));
          me:=me/strtofloat(edit1.text)
        end;
      k:=((ma-(me*me))/strtofloat(edit01.text))+(ob*p);
      h:=h+0.00000001;
      h1:=h1+0.000000001
    end;
  edit06.text:= floattostr(na);
  edit07.text:= floattostr(v);
  edit08.text:= floattostr(acc);
  edit09.text:= floattostr(k);
  edit05.text:= floattostr(ai[1]+h1-0.000000001);
  edit010.text:= floattostr(ai[2]+h1-0.000000001);

```

```

edit013.text:= floattostr(ai[3]+h1-0.00000001);
edit011.text:= floattostr(li[1]+h-0.0000001);
edit012.text:= floattostr(li[2]+h-0.0000001);
edit014.text:= floattostr(li[3]+h-0.0000001);
end;
procedure TForm02.Button02Click(Sender: TObject);
begin
form10.show;
form10.Button2.Enabled:=true;
form20.close
end;
end.

```

Расчет помехозащищенности аппаратуры

```

unit Vosp02;
interface
uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
  StdCtrls;
type
  TForm03 = class(TForm)
    Label01: TLabel;
    Edit10: TEdit;
    Button01: TButton;
    procedure Button01Click(Sender: TObject);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure FormActivate(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;
var
  Form03: TForm03;
implementation
uses VOSP;
const
  ls=6.40;
  ass=0.40;
  ar=0.50;
  nr=2.0;
  az=5.0;
  p1=2.0;

```

```

p2=-40.0;
var
e,lrm,ak:real;
{$R *.DFM}
procedure TForm3.Button1Click(Sender: TObject);
begin
form01.show;
form03.Close
end;
procedure TForm03.FormCreate(Sender: TObject);
begin
form03.Hide;
end;
procedure TForm03.FormActivate(Sender: TObject);
begin
lrm:=0;
ak:=strtofloat(inputbox('Расчет длины регенерационного участка','Введите километрическое затухание в dB',''));
e:= p1-p2;
lrm:=(e-ar*nr-az)/(ak+ass/ls);
form03.Edit01.Text:=floattostr(lrm)
end;
end.
```

```

unit Vosp03;
interface
uses
Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,
StdCtrls;
type
TForm04 = class(TForm)
Label01: TLabel;
Label02: TLabel;
Label03: TLabel;
Label04: TLabel;
Label05: TLabel;
Label06: TLabel;
Edit01: TEdit;
Edit02: TEdit;
Edit03: TEdit;
Edit04: TEdit;
Edit05: TEdit;
Edit06: TEdit;
Button01: TButton;
```

```

GroupBox01: TGroupBox;
Button02: TButton;
procedure Button01Click(Sender: TObject);
procedure Button02Click(Sender: TObject);
procedure FormDeactivate(Sender: TObject);
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
procedure Edit06Change(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form04: TForm04;
implementation
uses VOSP;
const
  h=6.620e-34;
  q=1.60e-19;
  c=3e+8;
  a=1.550e-6;
  k=1.380e-23;
{$R *.DFM}
procedure TForm04.Button01Click(Sender: TObject);
var
  i,f,kapa,r,d,sigshum,ppor,b:real;
begin
  i:=strtofloat(edit01.text)*6.30e-5;
  f:=c/a;
  kapa:=strtofloat(edit01.text)*h*f/q;
  r:=1/(2*pi*3.50e+9*strtofloat(edit02.text));
  sigshum:=i*i/(2*q*strtofloat(edit04.text)*(i+strtofloat(edit03.text)))
  +(4*k*strtofloat(edit04.text)*300*strtofloat(edit05.text))/r);
  b:=(q*strtofloat(edit03.text)+(2*k*300*strtofloat(edit05.text))/r)/(1e+3*(q*q)*5.8*3.5e+9);
  ppor:=(2*q*3.5e+9*5.8*(1+sqrt(1+b)))/strtofloat(edit01.text);
end;
procedure TForm04.Button02Click(Sender: TObject);
begin
  form04.Close;
  form01.show
end;
procedure TForm04.FormDeactivate(Sender: TObject);
begin

```

```
form01.show
end;
procedure TForm04.FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
begin
  form01.show
end;
procedure TForm04.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  button01.Enabled:=false
end;
procedure TForm04.Edit06Change(Sender: TObject);
begin
  if edit06.Text="" then
    button01.Enabled:=false
  else
    button01.Enabled:=true
end;
end.
```

3 Бизнес-план

3.1 Характеристика проекта

В данной дипломной работе я проектирую волоконно-оптическую линию связи на участке Павлодар – Томск. С быстрым темпом в данных городах урбанизации, социально-экономического и научно-технического прогресса предъявляется все больше требований к качеству, скорости и надежности связи, резко возрастает объем трафика на сети. Магистральная сеть Павлодар – Томск проходит через населенные пункты Карасук, Краснозерское, Ордынское, Новосибирск, Мошково, Болотное, Юрга.

В настоящее время появилась необходимость увеличить число каналов на магистрали, что обеспечит увеличение объема предоставляемых услуг потребителям, которое даст большую прибыль. Целью является проектирование магистрали, которая позволит на многие годы вперед увеличение пропускной способности участка, что даст возможность предоставлять в аренду операторам связи большее число каналов и получать максимально возможную прибыль. В конечном счете это увеличит емкость сети за счет внедрения новой цифровой технологии.

Решением проблемы вывода ее технического оснащения на международный уровень является использование новых технологий передачи: волоконно-оптической технологии DWDM с применением современного оборудования системы DWDM, отвечающего мировым стандартам. Это дает ряд преимуществ, обусловленных такими характеристиками как:

- большая пропускная способность;
- большая длина регенерационных участков;
- малое затухание;
- большая помехозащищенность;
- малые массы и габаритные размеры;
- малая стоимость 1 канала-километра.

Данное оборудование будет обеспечивать высокое качество передачи информации с большой скоростью. Для переоборудования магистрали необходимо только обеспечить ее новым оборудованием системы передачи и измерительными приборами для поддержания магистрали в рабочем режиме. Используется уже существующий оптический кабель, находящийся в хорошем состоянии. Следовательно, работ по прокладке оптического кабеля не требуется.

3.2 Организационный план

Для осуществления проекта необходимо приобретение оборудования, указанного в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Состав необходимого оборудования

Наименование оборудования	Число единиц, шт
Станционные сооружения:	
Транзитный мультиплексор	3
Мультиплексоры ввода/вывода	6
Оптические усилители EDFA	7
Сервер системы управления и программное обеспечение	1
Измерительные приборы:	
Анализатор спектра СМА 4792	2
Тестер цифровой SunSetE 20	2
Анализатор ПМД EXFO FTB-5500	2
Рефлектометр EXFO FTB-100	2
Кабель оптический, одномодовый	861

3.3 Производственный план

Сроки монтажа и настройки нового оборудования DWDM. Начало - 01.08.2014 г. Окончание - 31.12.2014 г.

Осуществление проекта на территории РК возложено на АО «Казахтелеком», являющимся главным оператором по строительству и обслуживанию магистральной транспортной сети Республики, которая также является ведущим оператором в своем регионе.

Предоставление каналов в аренду можно начать с 01.01.2015 г.

АО «Казахтелеком» заключает контракт с компанией поставщиком оборудования на строительство, монтаж и наладку оборудования системы передачи DWDM. В контракте фирма обязуется поставить необходимое измерительное и ремонтное оборудование, обеспечивать сервисное обслуживание, а также окончить строительство в установленные сроки со сдачей в эксплуатацию.

3.4 Финансовый план

При поиске необходимого оборудования, соответствующемуциальному качеству и приемлемого по цене, было рассмотрено несколько онлайн-каталогов и выбран наиболее подходящий условия, интернет-магазин: http://www.ccc.ru/magazine/depot/03_04/read.html?0302.htm

Сумма затрат для введения в эксплуатацию проектируемой ВОСП приведена в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Капитальные затраты [19]

Наименование затрат	Количество, штук	Норматив инвестиций, тыс. тг.	Общая сумма, тыс. тг
Станционные сооружения:			
DWDM мультиплексор OPTIX OSN 350	9	2700	24300
Оптический усилитель	7	416	2919
Сервер системы управления и программное обеспечение TNMS	1	4100	4100
Измерительные приборы:			
Анализатор спектра СМА 4792	2	8737	17474
Рефлектометр EXFO FTB-100	2	11721	23442
Анализатор ПМД EXFOFTB-100	2	12631	25262
Тестер цифровой SunSetE 20	2	669	1338

Кабель оптический, одномодовый	861км	97,061	83570
Прочие расходы:			
Расходный материал и инструменты для монтажно-настроечных работ в ОРП и ОП	9	25	225
Затраты на монтаж и наладку оборудования	7	10	70
Подготовительные и изыскательские работы	7	5	35
Затраты на обучение обслуживающего персонала	7	400	2800
Затраты на рекламную кампанию	-	-	700
Итого:	-	-	186235

Взять в кредит потребуется 186,235 млн. тг. под 10 % годовых. Срок погашения кредита – 2 года.

3.5 Годовые эксплуатационные расходы

3.5.1 Расчет штата работников

Чтобы определить общий штат по обслуживанию участка магистрали Р_{общ.}, необходимо рассчитать штат по обслуживанию линейно-аппаратного цеха (ЛАЦ). Данные для расчета берутся по «Нормативам трудоемкости и численности эксплуатационной деятельности предприятий, 2 этап, укрупненные нормативы численности работников вновь вводимых предприятий и сооружений».

Рассчитаем штат ЛАЦ ОРП и ЛАЦ ОП. На магистрали имеется 6ОРП и 2 ОП. Для обслуживания данной аппаратуры по нормативам расчета штата ОРП и ОП необходим магистральный инженер 5сменных электромеханика:

$$P_{общ.} = (1+5) \cdot (2+6) = 48 \text{ человек}$$

3.5.2 Расходы на эксплуатацию ВОСП

По данным, которые приведены на государственном сайте <http://adilet.zan.kz> средняя заработка plata одного служащего составляет 90 тыс.тг.[15] На срок монтажа и настройки оборудования принимают в штат 5 человек (на срок 4 месяца).

Заработная плата за этот срок:

$$ЗП_1 = 5 \cdot 4 \cdot 90 = 1,8 \text{ млн. тг.}$$

Годовой фонд оплаты труда по штатам ОРП и ОП:

$$3\Pi_2 = 48 \cdot 12 \cdot 90 = 51,84 \text{ млн. тг.}$$

Дополнительная заработная плата (30 % фонда оплаты труда):

$$3\Pi_{\text{доп}} = 0,3 \cdot 3\Pi_2, \quad (3.1)$$

$$3\Pi_{\text{доп}} = 0,3 \cdot 51,84 = 17,107 \text{ млн. тг.}$$

Расходы по заработанной плате (фонд оплаты труда) определяются по формуле:

$$\Phi OT = 3\Pi_1 + 3\Pi_2 + 3\Pi_{\text{доп}}, \quad (3.2)$$

$$\Phi OT = 1,8 + 51,84 + 17,107 = 70,747 \text{ млн. тг.}$$

Социальный налог составляет 11% от ФОТ, после отчисления 10 % от ФОТ в пенсионный фонд:

$$C_h = 0,11 \cdot (\Phi OT - 0,1 \cdot \Phi OT), \quad (3.3)$$

$$C_h = 0,11 \cdot (70,747 - 0,1 \cdot 70,747) = 7,003 \text{ млн. тг.}$$

Амортизационные отчисления для отрасли связи составляют 25% в год от суммы капитальных затрат:

$$A = 0,25 \cdot K, \quad (3.4)$$

где К- сумма капитальных затрат, 186,235 млн. тг.

$$A = 0,25 \cdot 186,235 = 46,559 \text{ млн. тг.}$$

Расходы на материалы и запасные части составляют 0,5% в год от суммы капитальных затрат:

$$P_m = 0,005 \cdot K, \quad (3.5)$$

$$P_m = 0,005 \cdot 186,235 = 931,175 \text{ тг.}$$

Расходы на электроэнергию:

$$P_{эл} = 8760 \cdot Ц_{кВт} \cdot (W_1 \cdot N_1 + W_2 \cdot N_2), \quad (3.6)$$

где W_1 – мощность, потребляемая мультиплексором, 0,1 кВт/ч;

W_2 – мощность, потребляемая оптическим усилителем, 0,025 кВт/ч;

$Ц_{кВт}$ – цена одного киловатта электроэнергии, договорная, составляющая на данный момент:

- Ночью (с 23:00 до 7:00) — 3,44 тг за кВт/ч;

- Днем (с 7:00 до 19:00) — 10,11 тг за кВт/ч;

- Вечером (с 19:00 до 23:00) — 25,23 тг за кВт/ч;

N_1 – количество мультиплексоров, 8;

N_2 – количество оптических усилителей, 5;

8760 – количество часов в году.

$$P_{эл} = (2920 \cdot 3,44 + 4380 \cdot 10,11 + 1460 \cdot 25,23) \cdot (0,1 \cdot 9 + 0,025 \cdot 7) = 98000 \text{тг.} = 98 \text{тыс. тг.}$$

Накладные расходы составляют 70 % от основных расходов:

$$P_{накл} = 0,7 \cdot P_{осн}, \quad (3.7)$$

Накладные расходы определяются по формуле:

$$P_{накл} = 0,7 \cdot (ФОТ + C_h + A + P_m + P_{эл}), \quad (3.8)$$

$$P_{накл} = 0,7 \cdot (70,747 + 7,003 + 46,559 + 0,931175 + 0,98) = 88,354 \text{млн. тг.}$$

Годовые эксплуатационные расходы:

$$\mathcal{E}_{год} = P_{накл} + K_{пр} + A + P_{эл} + P_m + ФОТ + C_h, \quad (3.9)$$

где $K_{пр}$ – сумма кредитных процентов.

$$K_{пр} = K \cdot 0,1 = 186,235 \cdot 0,1 = 18,6235 \text{ млн. тг.}$$

$$\mathcal{E}_{год} = 88,554 + 18,624 + 46,559 + 0,89 + 0,931175 + 70,747 + 7,003 = 223,198 \text{млн. тг.}$$

Расчеты эксплуатационных расходов сведем в таблицу 3.3.

Таблица 3.3 – Эксплуатационные расходы

Статьи затрат	Сумма затрат, млн. тг.
Фонд оплаты труда	70,747
Социальный налог	7,003
Амортизационные отчисления	46,559
Расходы на материалы и запасные части	0,931175
Расходы на электроэнергию	0,98
Кредитные выплаты	18,624
Накладные расходы	88,354
Итого:	233,198

3.6 Доходы и экономическая эффективность

Годовая сумма доходов:

$$\Delta = Q \cdot \Pi_{ак} \cdot k, \quad (3.10)$$

где Q – число сдаваемых в аренду каналов, 529;

$\Pi_{ак}$ – цена аренды одного цифрового канала, 185 тыс.тг/мес (www.b2b.tattelecom.ru/nets/arenda);

K – количество часов в году на сдачу каналов в аренду.

В году 12 месяцев, но при сдаче каналов в аренду, они используются на 30% времени в год.

Определим доход от аренды каналов в год:

$$\Delta = 529 \cdot 185000 \cdot 12 \cdot 0,30 = 348,505 \text{ млн. тг.}$$

Чистый доход от хозяйственной деятельности определяется по формуле:

$$\text{ЧД} = \Delta - \mathcal{E}_{год}, \quad (3.11)$$

$$\text{ЧД} = 348,505 - 186,235 = 162,27 \text{ млн. тг.}$$

Налог с прибыли (20% в бюджет) рассчитаем по формуле:

$$H_{\pi} = 0,2 \cdot \text{ЧД}, \quad (3.12)$$

$$H_{\pi} = 0,2 \cdot 162,27 = 32,454 \text{ млн. тг.}$$

Чистая прибыль предприятия:

$$\text{ЧП} = \text{ЧД}-\text{Н}_\pi, \quad (3.13)$$

$$\text{ЧП} = 162,27 - 32,454 = 129,816 \text{ млн. тг.}$$

Коэффициент общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений:

$$\begin{aligned} E &= \text{ЧП}/K, \\ E &= 129,816/186,235 = 0,7 \end{aligned} \quad (3.14)$$

Период окупаемости для проекта:

$$\begin{aligned} T &= K/\text{ЧП} = 1/E, \\ T &= 1/0,7 = 1,4 \text{ года} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Экономические показатели проекта приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Экономические показатели проекта до дисконтирования

Наименование показателя	Величина
Капитальные затраты, млн. тг.	186,235
Срок кредитования, лет	2
Штат, человек	48
Эксплуатационные расходы, млн. тг.	233,198
Годовая сумма доходов, млн. тг.	348,505
Чистый доход, млн. тг.	162,27
Чистая прибыль, млн. тг.	129,816
Коэффициент экономической эффективности	0,7
Срок окупаемости, лет	1,4

3.7 Расчет показателей эффективности инвестиций

При анализе инвестиционных проектов используются следующие показатели эффективности инвестиций:

- чистая текущая стоимость проекта (NPV);
- внутренняя норма рентабельности (IRR);

- дисконтированный период окупаемости (DPP).

3.7.1 Чистая текущая стоимость проекта (netpresentvalue, NPV)

NPV - это разность между текущей стоимостью денежных поступлений по проекту или инвестиций и текущей стоимостью денежных выплат на получение инвестиций, либо на финансирование проекта, рассчитанная по фиксированной ставке дисконтирования. Значение NPV можно представить как результат, получаемый немедленно после принятия решения об осуществлении данного проекта, так как при расчете NPV исключается воздействие фактора времени, то есть если значение показателя:

- $NPV > 0$ – проект принесет прибыль инвесторам;
- $NPV = 0$ – увеличение объемов производства не повлияет на получение прибыли инвесторами;
- $NPV < 0$ – проект принесет убытки инвесторам.[20]

NPV рассчитывается по формуле:

$$NPV = \sum_i \frac{PVi}{(1+E)^i} - Io; \quad (3.16)$$

где PVi – современная стоимость денежного потока на протяжении экономической жизни проекта – 87,158 млн.тг.;

E – норма дисконта, равная 20%;

Io – сумма первоначальных затрат, т.е. сумма инвестиций на начало проекта – 186,235 млн.тг.;

i – количество периодов - 2.

$$NPV = \frac{129,816}{(1+0,2)^1} + \frac{129,816}{(1+0,2)^2} - 186,235 = 12,095 \text{ млн.тг.}$$

При E – норма дисконта, равная 26%,

$$NPV = \frac{129,816}{(1+0,26)^1} + \frac{129,816}{(1+0,26)^2} - 186,235 = -0,56 \text{ млн.тг.}$$

3.7.2 Внутренняя норма рентабельности (IRR)

IRR или внутренняя норма прибыли рассчитывается на базе показателя NPV: NPV проекта равен нулю: $IRR = E$, при котором $NPV = 0$, данный коэффициент показывает максимальную стоимость инвестиций, указывает на максимально допустимый относительный уровень расходов, которые могут быть ассоциированы с данным проектом.

Именно с ним сравнивается показатель IRR, рассчитанный для конкретного проекта, при этом связь между ними такова:

- если $IRR > Io$, то проект следует принять;
- если $IRR < Io$, то проект следует отвергнуть;

- если $IRR = I_0$, то проект ни прибыльный, ни убыточный.[21]

$$IRR = \sum_i \frac{PV_i}{(1+E)^i} - I_0 = 0; \quad (3.17)$$

$$IRR = 20 + \frac{(26 - 20) \cdot 12,095}{12,095 - (-0,56)} = 25,734\%$$

3.7.3 Дисконтированный период окупаемости (DPP)

DPP является одним из наиболее распространенных и понятных показателей оценки эффективности инвестиционного проекта.

Дисконтирование, по сути, характеризует изменение покупательной способности денег, то есть их стоимости, с течением времени. На его основе производят сопоставление текущих цен и цен будущих лет.

Рассматривая механизм формирования показателя периода окупаемости, следует обратить внимание на ряд его особенностей, снижающих потенциал его использования в системе оценки эффективности инвестиционных проектов.

Дисконтированный период окупаемости определяется по формуле:

$$DPP = t, \text{ при котором } Pt > I; \quad (3.18)$$

где Pt – чистый денежный поток доходов.

Коэффициент дисконтирования или барьерная ставка это показатель, используемый для приведения величины денежного потока в n-периоде оценки эффективности инвестиционного проекта, другими словами ставка дисконтирования это процентная ставка, используемая для перерасчета будущих потоков доходов в единую величину текущей стоимости.

Дисконтированный период окупаемости для проекта:

$$T = 1 + \frac{186,235 - 129,816}{108,18} = 1,6 \text{ года (1 г., 6 мес.)}$$

Диаграмма экономических показателей приведена на рисунке 3.1.

Таблица 3.5 – Экономические показатели проекта после дисконтирования

Наименование показателя	Величина
Капитальные затраты, млн.тг	186,235
Срок кредитования, г.	2
Штат, чел.	48
Эксплуатационные расходы, млн.тг	233,198

Годовая сумма доходов, млн.тг	348,505
Чистая прибыль, млн.тг.	129,816
Срок окупаемости, г.	1,6

3.8 Оценка результата

В первый период эксплуатации модернизированного участка возможны некоторые риски предприятия при ухудшении экономической ситуации в Республике Казахстан, недобросовестности и низкой квалификации работников, при резком ухудшении технического состояния ВОЛС или качества передачи.

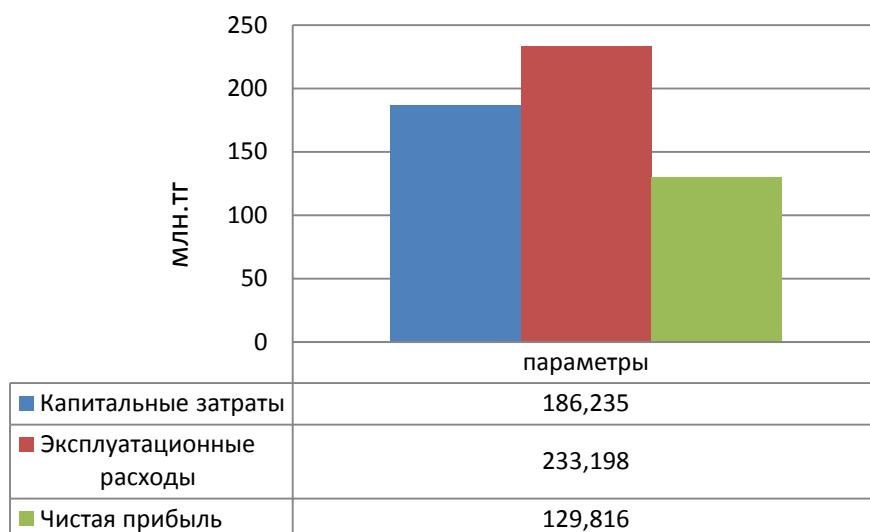


Рисунок 3.1- Диаграмма экономических показателей проекта

Это возможно также:

при неоплате аренды каналов со стороны арендаторов;

- при неустойчивом спросе на предоставляемые услуги связи;
- при банкротстве банков, осуществляющих денежные переводы.

В заключение можно отметить, что несмотря на возможные риски предприятия, расчетный срок окупаемости данного проекта составляет 1год 6 месяцев, что не превышает нормативных показателей.

Данные показатели говорят, что проектирование магистрали с применением оборудования DWDM экономически выгодно.

4. Безопасность жизнедеятельности

4. 1 Нормирование параметров микроклимата

Рабочее место для выполнения работы в положении сидя в офисе, соответствует требованиям ГОСТа (ГОСТ 12.2.032-78. «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»). В конструкции его элементов учитываем характер работы, психологические особенности человека и его антропометрические данные.

Операторский зал имеет следующий размеры: длина $A=18$ м, ширина зала $B=9$ м, высота $H=3,2$ м. Высота рабочей поверхности над уровнем пола 0,8 м, окна начинаются с высоты 0,8 м, высота окон 1,8 м. Рядом стоящее здание на расстоянии 10 м, высотой 7 м, с трех других сторон затеняющих зданий нет.

В помещении для персонала находятся 21 работник. По требованиям ГОСТа на одного человека должно приходится не менее $6,2 \text{ м}^2$ площади помещения. Помещение имеет площадь 162 м^2 , значит на одного работника приходится $7,71 \text{ м}^2$ площади помещения, что удовлетворяет требованиям ГОСТа.

В рабочем помещении размером $18 \cdot 9 \cdot 3,2$ метра объемом 518 м^3 работает 21 человек. Т. о. в помещение будет подаваться следующий объем наружного

воздуха: при кубатуре помещения до $25 \text{ м}^3/\text{чел}$ – не менее $30 \text{ м}^3/\text{ч}$ на человека. Воздух, поступающий в офисное помещение, очищен от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов.

Микроклимат на производстве оценивается в рабочей зоне, т.е. пространстве высотой до 2 м., над уровнем пола или площадки, на которой находятся места постоянного или временного пребывания работающих. Влажность воздуха определяется содержанием в нем водяных паров. [18]

Для поддержания необходимых микроклиматических условий в соответствии с требованиями «Санитарных норм, микроклимата производственных помещений» ГОСТ 12.1.005–88 и нормального функционирования оборудования цифровой станции в операторской устанавливается кондиционер. Нормативные показатели микроклимата приведены в таблице 4.1.[22]

Таблица 4.1 – Нормы микроклимата производственных помещений при выполнении работ средней тяжести

Период Года	Температура С		Оптимальная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.	Оптим.	Допуст.
Холодный период года	18-20	17-23	40-60	75	0,2	Не более 0,1
Теплый период года	21-23	18-27	40-60	65	0,3	0,2-0,4

Помещение прежде не имело оборудования для кондиционирования воздуха. Ниже приведён подробный расчёт системы обеспечения оптимального микроклимата с выбором конкретного оборудования.

4.2 Технические решения обеспечения безопасности жизнедеятельности

Мероприятия по устранению или снижению недостаточной освещенности рабочей зоны.

Освещенности помещения рассчитываем по методу коэффициента использования. У нас имеется операторное помещение с белым подвесным потолком, окнами с открытыми жалюзями и побеленными стенами. Длина операторного помещения равна $A=18 \text{ м}$, ширина $B=9 \text{ м}$, высота $H=3,2 \text{ м}$.

Нормируемую освещённость выбираем для зрительной работы средней точности, она равна $E = 200 \text{ лк}$. Принимаем систему общего освещения люминесцентными лампами ЛД мощностью 36 Вт, со световым потоком $\Phi_{\text{Л}} = 2350 \text{ лм}$, диаметром 16 мм, длинной 1149 мм. Светильники типа PRS/R-236 (по две лампы в светильнике) фирмы Lighting Technologies, встраиваемые в подвесные потолки. Коэффициенты отражения потолка, стен, пола - $\rho_{\text{пот}} = 70\%$, $\rho_{\text{ст}} = 50\%$, $\rho_{\text{пол}} = 20\%$.

Расчётная высота подвеса - рабочая поверхность находится на высоте $h_{\text{пр}} = 0,8 \text{ метра}$ от пола, высота свеса ламп - $h_{\text{сл}} = 0 \text{ метров}$, следовательно:

$$h = H - (h_{P\Pi} - h_{CB}), \quad (4.1)$$

$$h = 3,2 - (0,8 - 0) = 2,4 \text{ м}$$

Наивыгоднейшее расстояние между светильниками определяется как ($\lambda = 1,2 \div 1,4$):

$$L_a = \lambda \cdot h, \quad (4.2)$$

$$L_a = 1,2 \cdot 2,4 = 3 \text{ м}$$

При ширине зала $B = 9 \text{ м}$ имеем число рядов светильников:

$$n = B/L, \quad (4.3)$$

$$n = 9/3 = 3$$

Определим индекс помещения:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A+B)}, \quad (4.4)$$

$$i = \frac{18 \cdot 9}{2,4 \cdot (18 + 9)} = 2$$

Тогда коэффициент использования $\eta_1 = 48\%$ [15].

Коэффициент запаса для учебных помещений, лабораторий, конструкторских бюро:

$$K_3 = 1.5$$

Необходимое количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot K_3 \cdot S \cdot Z}{n \cdot \Phi_L \cdot \eta_1}, \quad (4.5)$$

- где E – заданная минимальная освещенность;
 K_3 – коэффициент запаса;
 S – освещаемая площадь;
 Z – коэффициент неравномерности освещения ($Z=1,1 \div 1,2$);
 N – количество ламп в светильнике;
 Φ_L – световой поток лампы.
- Подставим значения в формулу 4.5:

$$N = \frac{200 \cdot 1,5 \cdot 162 \cdot 1,2}{2 \cdot 2350 \cdot 0.48} = 26 \text{ шт}$$

Таким образом, из расчетов видно, что необходимо 26 светильников PRS R-236, поэтому поставим 27 светильников для равномерности освещения.

При длине одного светильника типа PRS R-236 с двумя лампами OSRAM Lumilux L 36W L = 1,2 м, а ширине W = 0,4 м, их общая длина в один ряд составит:

$$N \cdot W = 9 \cdot 0,4 = 3,6 \text{ м}$$

$$d_w = (18 - 3,6)/10 = 1,44 \text{ м}$$

$$N \cdot L = 9 \cdot 1,2 = 3,6 \text{ м}$$

$$d_l = (9 - 3,6)/4 = 1,35 \text{ м}$$

Таким образом, размещение светильников будет по ширине три светильника в один ряд, расстояние между ними 1,35 метра и расстояние от стены также составляет 1,35 метра. В один ряд по длине устанавливается 9 светильников, расстояние между ними составляет 1,44 метра и от стены по 1,44 метра. Всего нужно 27 светильников PRS R-236 для получения нормируемой освещенности 200 лк, мощность ламп должна составлять 36 Вт.

Схема размещения светильников изображена на рисунке 4.2.

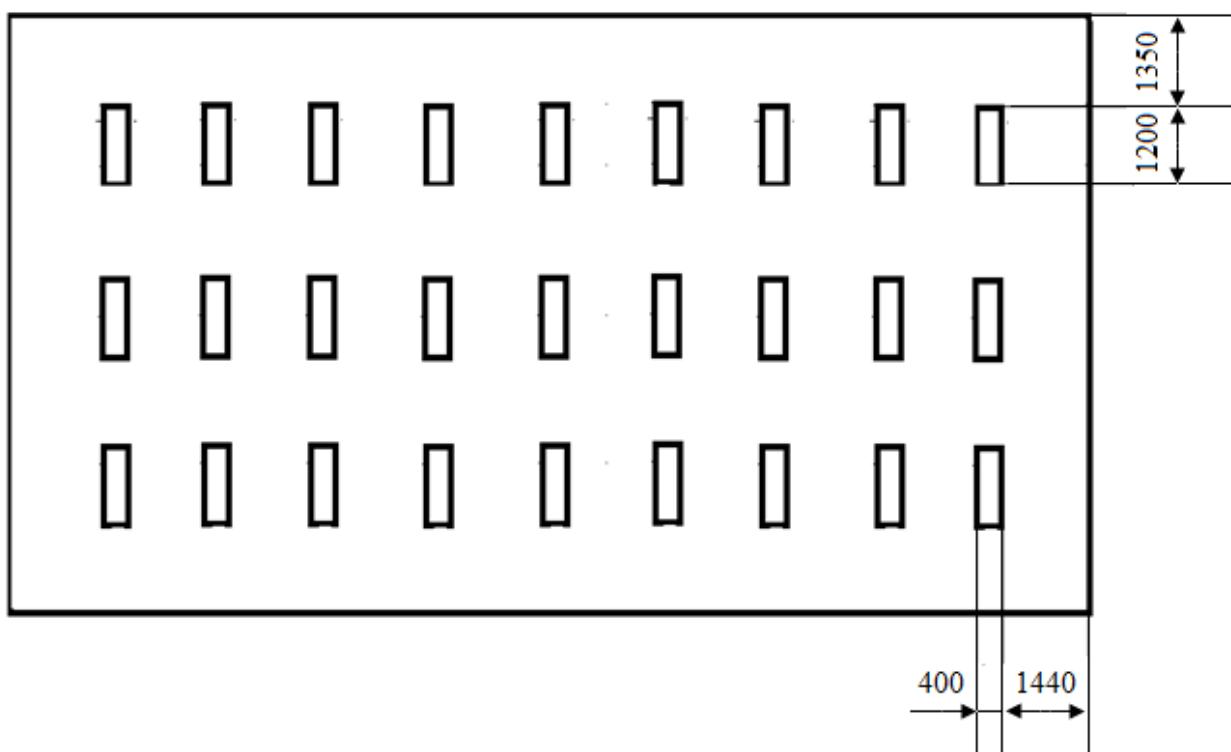


Рисунок 4.2 – Расположение светильников

4.3 Выбор кондиционера

При расчете системы кондиционирования производственное помещение должно быть полностью удалено от вредных факторов, таких как избыток влаги, паров, пыли и газов.

Теплопоступления и теплопотери в результате разности температур.

Количество тепла, поступающего в помещение, в результате разности температур определяется по формуле:

$$Q_{\text{ОГР}} = V_{\text{пом}} \cdot X_0 \cdot (t_{\text{Нрасч}} - t_{\text{Врасч}}), \quad (4.6)$$

где $V_{\text{пом}} = 18 \cdot 9 \cdot 3,2 = 518 \text{ м}^3$ – объём помещения;

$X_0 = 0,42 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ – удельная тепловая характеристика;

$t_{\text{Нрасч}} = 27,6 \text{ }^\circ\text{C}$ – расчётная наружная температура для тёплого периода года;

$t_{\text{Нрасч}} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ – расчётная наружная температура для холодного периода года;

$t_{\text{Врасч}} = 23 \text{ }^\circ\text{C}$ – расчётная внутренняя температура для тёплого периода года;

$t_{\text{Врасч}} = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ оптимально, $23 \text{ }^\circ\text{C}$ допустимо - расчётная внутренняя температура для холодного периода года.

Тогда теплопоступления для тёплого периода года составят (формула 4.7):

$$Q_{\text{ОГР}} = 518 \cdot 0,42 \cdot (27,6 - 23) = 1001 \text{ Вт}$$

А теплопотери для холодного периода года составят (формула 4.6):

$$Q_{\text{ОГР}} = 518 \cdot 0,42 \cdot (23 - (-10)) = 7180 \text{ Вт}$$

Количество тепла от солнечного излучения.

Таблица 4.3 – Поступление тепла от прямой и рассеянной солнечной радиации через вертикальное остекление

Геогр. Широта	Солнечное время	Остекление	
		Солнечная радиация	
		Прямая	Рассеянная
44 град. с.ш.	11-12 ч.	102	59

Таблица 4.4 – Коэффициент тепло пропускания

Солнцезащитное устройство	$\beta_{\text{с.з.}}$
Жалюзи, с деревянными пластинками	0,15

Таблица 4.5 – Коэффициент K_1 , учитывающий затемнение световых проемов

Заполнение светового проема	Незагрязненная атмосфера
Остекление в металлических переплетах	1,15

Таблица 4.6 – Коэффициент K_2 , учитывающий загрязнение остекления.

Степень загрязненности остекления	K_2
Незначительное (не более 5 мг/м ³)	0,95

Площадь ленточного остекления диспетчерской (5 окон – 2 · 1,8 метра, направление на север «С»):

$$F_0 = n \cdot S_{\text{OKNA}} \quad (4.7)$$

$$F_0 = 5 \cdot 3,6 = 18 \text{ м}^2$$

$Q_{\text{РАД}}$ - количество тепла от солнечного излучения.

$$Q_{\text{РАД}} = m \cdot F_0 \cdot (q^I + q^{II}) \cdot \beta_{C,3} \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (4.8)$$

где m – количество окон,

F_0 – площадь окна,

q^I, q^{II} - тепловые потоки от прямой и рассеянной радиации (таблица 4.3) (Вт/м²),

$\beta_{C,3}$ – коэффициент тепло пропускания (таблица 4.4),

k_1 – коэффициент затемнения остекления (таблица 4.5),

k_2 – коэффициент загрязнения стекла (таблица 4.6).

$$Q_{\text{РАД}} = 5 \cdot 3,6 \cdot 59 \cdot 0,15 \cdot 0,95 \cdot 1,15 = 174, \text{ Вт.}$$

Теплопоступление от людей

В офисе летом при температуре 23°C находится одновременно 22 человека. Один мужчина при температуре 23°C в положении сидя выделяет явного тепла 79 Вт, для женщин этот показатель составляет 67 Вт. В офисе находятся 1 мужчина и 20 женщин. Зимой же средняя температура в помещении равна 16° С, поэтому явное тепловыделение одного мужчины равно 109 ваттам, а у женщин 93 ваттам. Таким образом, приведем расчеты тепловыделения людей:

3) $Q_{\text{Л}} = q_{\text{я}} \cdot n$ – количество тепла от людей.

$q_{\text{я}}$ - тепловыделение явное (Вт). (для 23°C - 79 Вт, для 16°C – 109 Вт)

$q_{\text{я}}$ женщин составляет 85% $q_{\text{я}}$ мужчин.

Лето: $Q_{\text{Л}} = q_{\text{я}} \cdot n = 1 \cdot 79 + 20 \cdot 67 = 1577, \text{ Вт,}$

Зима: $Q_{\text{Л}} = q_{\text{я}} \cdot n = 1 \cdot 109 + 20 \cdot 93 = 1969, \text{ Вт.}$

Теплопоступление от осветительных приборов и оргтехники.

Теплопоступление от ламп определяется по формуле:

$$Q_{OY} = \eta \cdot N_{OY} \cdot F \quad (4.9)$$

Коэффициент перехода электрической энергии в тепловую энергию для люминесцентных ламп: $\eta = 0,5\text{-}0,6$

Установленная мощность ламп:

$$N_{OY} = 9 \text{ Вт/м}^2$$

Площадь пола:

$$F_{\text{ПОЛ}} = 18 \cdot 9 = 162 \text{ м}^2$$

Тогда:

$$Q_{OCB} = 0,6 \cdot 9 \cdot 162 = 875 \text{ Вт}$$

В связи с оргтехникой находящейся в офисе, возникают теплопритоки. В среднем на один компьютер они составляют 300 Вт, а для оргтехника же в среднем составляет 50 Вт на один прибор т. е.:

$$Q_{OB} = 180 \cdot 21 + 1 \cdot 50 = 3830 \text{ Вт}$$

Тогда общий баланс теплопоступлений определяется формулой:

$$Q = Q_{OGR} + Q_{RAD} + Q_{LUD} + Q_{OCB} + Q_{OB} \quad (4.10)$$

И равен для тёплого периода года:

$$Q = 1001 + 174 + 1656 + 875 + 3830 = 7536 \text{ Вт}$$

Для холодного периода года:

$$Q = -7180 + 174 + 2078 + 875 + 3830 = -223 \text{ Вт}$$

Теплонапряженность.

Так как тепловой баланс для лета больше зимнего теплового баланса, то рассчитаем тепло напряженность воздуха по формуле:

$$Q_H = \frac{Q_{ИЗБЛЕТО} \cdot 860}{V_{ПОМ}} = \frac{7,536 \cdot 860}{518,4} = 12,51 \text{ ккал/м}^3,$$

При $Q_H > 20 \text{ ккал/м}^3$, $\Delta t = 8 \text{ }^{\circ}\text{C}$,
при $Q_H < 20 \text{ ккал/м}^3$, $\Delta t = 6 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Определение количества воздуха, необходимое для поступления в помещение:

$$L = \frac{Q_{изб} \cdot 860}{C \cdot \Delta t \cdot \gamma} = \frac{7,536 \cdot 860}{0,24 \cdot 6 \cdot 1,204} = 3738 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Определение кратности воздухообмена:

$$n = \frac{L}{V_{пом}} = \frac{3738}{518} = 7,22 \text{ час}^{-1}.$$

Операясь на общее максимальное теплопоступление (теплопоступление максимально в тёплый период года) для рассматриваемого помещения, выбирается модель кондиционера (с учётом запаса) из типового ряда по ближайшему значению холодопроизводительности.

Выбираем кондиционер фирмы Midea, наиболее зарекомендовавший себя на рынке. Технические характеристики приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Технические характеристики настенного кондиционера

Общие характеристики	
Тип	настенная сплит-система
Максимальная длина коммуникаций	25 м
Основные режимы	охлаждение / обогрев
Максимальный воздушный поток	3799,8 куб. м/ч
Мощность в режиме охлаждения	7030 Вт
Мощность в режиме обогрева	7330 Вт
Потребляемая мощность при обогреве	2100 Вт
Потребляемая мощность при охлаждении	2350 Вт
Режим осушения	есть, до 2,6 л/ч
Управление	
Пульт дистанционного управления	Есть
Таймер включения/выключения	Есть
Габариты	
Внутреннего блока сплит-системы или мобильного кондиционера (ШxВxГ)	118,6x34x25,8 см
Общее	
Уровень шума (мин/макс)	40 дБ / 49 дБ
Регулировка скорости вращения вентилятора	есть, количество скоростей – 3

Другие функции и особенности	дезодорирующий плазменный фильтр,	фильтр,
Обслуживаемая площадь	58 кв. м	

4.4 Безопасность при работе с оптическим кабелем.

Волоконно-оптическая система очень вредна для человека, который работает с ней. В настоящее время многие специалисты работающие в области телекоммуникаций, сталкивались с работой связанной с оптическими системами. Поэтому очень важно соблюдать правило безопасности и меры предосторожности при работе с оптическими системами.

4.5 Меры предосторожности при работе с лазерными источниками света.

Во время работы с ОВ очень важно соблюдать технику безопасности по отношению к источнику света. Так как лазеры являются весьма опасными и могут нанести серьезный вред, очень важно изначально предотвратить такие случаи. Светоизлучающий диод (LED), который также как и лазер может использоваться в качестве источника, имеет малую мощность, но, несмотря на это, может быть не менее опасен. Это возможно и в том случае, если выходящий из него свет, будет фокусируется при помощи какого-либо смотрового прибора.

Инфракрасное излучение (ИК) применяется во многих телекоммуникационных системах для того, чтобы передать сигнал. Это значит, визуально обнаружить его очень сложно, а то и не возможно. "Заглядывать" в волокно запрещено. При помощи специальных визуализаторов и конверторов можно преобразовать свет в видимый диапазон из инфракрасного, но даже в этом случае при ярком свете его будет также трудно обнаружить. Для того, чтобы определить активность волокна чаще всего используется датчик инфракрасного излучения.

При соединении волокон, важно держать концы волокон по направлению от себя, так можно обезопасить себя от риска. Также при работе очень важно. Чтобы волокно находилось на расстоянии вытянутой руки. В случае его поломки, волонко не представляет опасности, свет на выходе будет рассеиваться поврежденным торцом. Если конец наоборот сколот, то свет в волокне остается коллимированным.

От ультрафиолетового излучения (УФ) можно получить не менее серьезный вред, чем от инфракрасного света. Поэтому с ним нужно быть особенно внимательным. Для ослабления УФ-излучения, используются специальные защитные очки.

Заключение

В дипломной работе была спроектирована волоконно-оптическая линия связи на участке Павлодар – Томск. Технология для проектирования этой магистральной сети выбрана DWDM. В работе было рассчитано необходимое число каналов и потоков. С учетом рассчитанного числа потоков, выбран мультиплексор уровня STM-16. Был проведен сравнительный анализ мультиплексоров «Huawei Technologies» (OptiX OSN 3500) и «Marconi» (OMS 16-64), в ходе чего, был выбран мультиплексор компании «Huawei Technologies», так как он является экономически выгоднее. С учетом того, что на моей магистрали кабель прокладывается в грунт, был выбран оптический кабель с броней из круглых стальных проволок для подземной прокладки типа ОКЛК-01, выпускаемые ЗАО "Самарская оптическая кабельная компания". В оптических кабелях связи используется одномодовое оптическое волокно со смещенной дисперсией. Так же была рассчитана длина регенерационного участка по затуханию и по дисперсии, сравнивая полученные значения, было выбрано минимальное, то есть 74 км. Была выбрана трасса и построена схема организации проектируемой трассы.

В экономической части дипломного проекта был представлен бизнес-план. Срок окупаемости полагается 1 год 6 месяцев, с учетом инфляции и необходимыми затратами производимыми на выплату нормального функционирования всего проекта и отдельных его частей. Проектирование магистрали с применением технологии DWDM экономически выгодно.

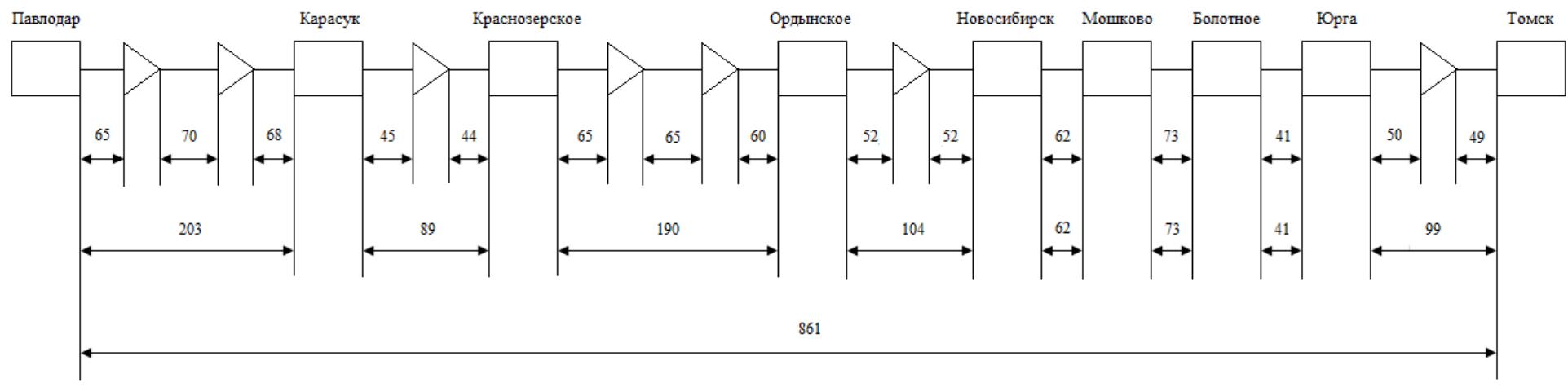
В разделе безопасности жизнедеятельности был проведен: расчет освещенности рабочей зоны, выбран кондиционер, представлены меры предосторожности при работе с оптическим кабелем и источником света.

Список литературы

1. Иванов В.И., Гордиенко В.Н., Попов Г.Н., Аснин Л.Б., Репин В.Н., Тверецкий М.С., Заславский К.Е., Исаев Р.И. Цифровые и аналоговые системы передачи. – М.: Радио и связь, 1995.
2. Общая информация о Павлодарской области / Портал visitkazakhstan.nur.kz
- 3.
4. Бутусов М.М., Верник С.М., Галкин С.Л., Гомзин В.Н., Машковец Б.М., Щелкунов К.Н. Волоконно-оптические системы передачи. – М.: Радио и связь, 1992.
5. Кемельбеков Б.Ж., Мышкин В.Ф., Хан В.А. Волоконно-оптические кабели. М., 1999
6. Гроднев И.И. Волоконно – оптические линии связи: учебное пособие для высших учебных заведений. – М.: Радио и связь 1990
7. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно оптические сети. – М.: Радио и связь 1998.
8. Андрушко Л.М., Гроднев И.И., Панфилов И.П. Волоконно-оптические линии связи. – М.: Радио и связь, 1984.
- 9.
10. Слепов Н.Н. Архитектура и функциональные модули сетей SDH// Сети и системы связи. – 1996. – № 1.
11. http://www.ccc.ru/magazine/depot/03_04/read.html?0302.htm.
12. Экономика связи: Учебник для вузов. - Под ред. О.С. Срапионова. – М.: Радио и связь, 1992.
13. Н.П. Резникова Маркетинг в телекоммуникациях. – М.: Эко – Трендз, 1998.
14. Н.И. Баклашов, Н.Ж. Китаев, Б.Д. Терехов. Охрана труда на предприятиях связи и охрана окружающей среды: Учебник для высших учебных заведений - М.: “Радио и Связь”, 1989.
15. Дюсебаев М.К. и другие. Методические указания по «Охране труда» для студентов дипломников. – Алма-Ата: АИЭ, 1984.

Приложение А

Схема организации связи на проектируемом участке



— Оптический мультиплексор — Оптический усилитель

Рисунок А1 – Схема организации связи на проектируемом участке

Приложение Б

Схема организации связи на проектируемом участке

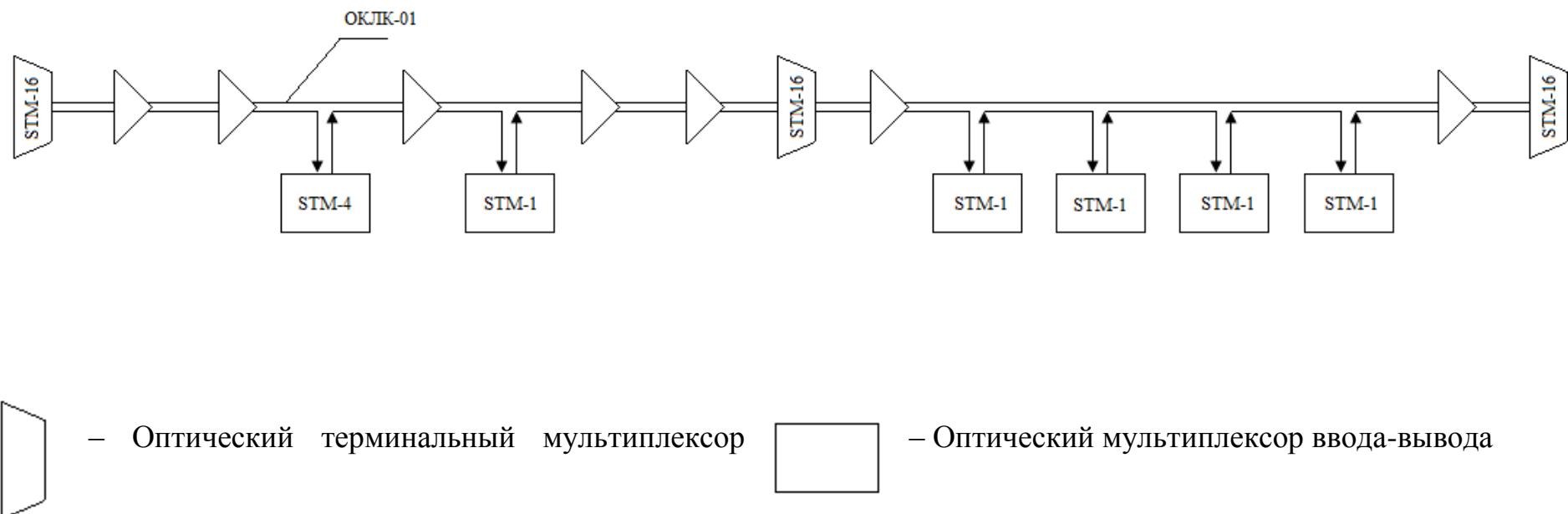


Рисунок Б1 – Схема организации связи на проектируемом участке

Приложение В

Расчет основных параметров волокна

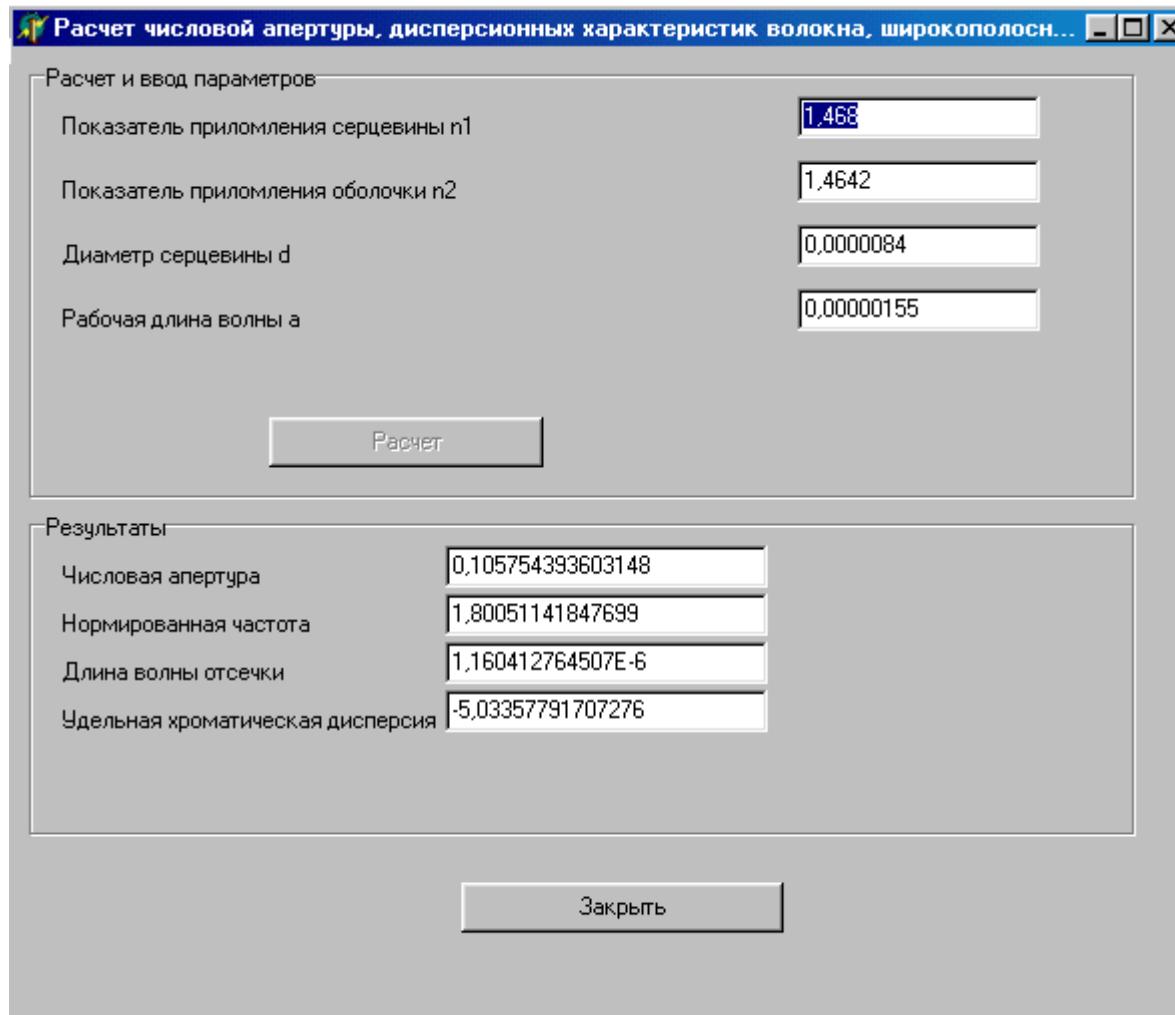


Рисунок В1 – Окно расчета основных параметров волокна