

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»

Заведующий кафедрой Д. Р.

Шатахметов Д. Р.

(Ф.И.О., ученая степень, звание)

«    » 20 г.

(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Модернизация сети между узлом станция  
Алматы - 7 и южным региональным узлом сети  
передачи данных

Специальность 5В071300 Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил (а)

Мах Р.А.

(Фамилия и инициалы)

МТС-10-4

группа

Научный руководитель

Артошкин А.В. ст. преподаватель

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Боканова Г.Ш. - доцент каф. ЭО и УП

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

ГБ

(подпись)

«04»

мая

2014г.

по безопасности жизнедеятельности:

Дюсеебаев И.В. ст. преподаватель

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Дюсеебаев И.В.

(подпись)

«03»

июня

2014г.

по применению вычислительной техники:

Артошкин А.В. ст. преподаватель

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Арт

(подпись)

«04»

июня

2014г.

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

«    »

20      г.

(подпись)

Нормоконтролер:

ст. преподаватель ТКС Кондратович А.А.

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

АК

(подпись)

«4»

июня

2014г.

Рецензент:

(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

«    »

20      г.

(подпись)

Алматы 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Радиотехники и связи  
Специальность 58071300 Радиотехника, электротехника и телекоммуникации  
Кафедра Телекоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Ма Роман Аркадьевич  
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Модернизация сети между узлом станции Алматы-2 и Южным релейным узлом сети передачи данных

утверждена приказом ректора № 115 от «24» сентября 2013 г.

Срок сдачи законченной работы «25» мая 2014 г.

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

Длина проектируемого участка - 2,03 км; волна  
пропускания оптического кабеля - 8,8·10<sup>10</sup> Гц·км, суммарного  
потери на линии - 5,81 дБ, ожидаемое быстродействие -  
24,84 нс, длина регенерационного участка - 170 км.

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

В первом разделе дипломного проекта я рассмотрел  
основные положения о сети передачи данных, существую-  
щие существующих оптических линиях связи, алгоритм  
маршрутизации, удовлетворяющий требованиям проектируемой сети.  
Второй раздел описывает способ модернизации существующей  
сети и используемое при этом оборудование. Третий раздел  
посвящен расчету параметров проектируемой линии связи.  
В четвертом разделе произведен анализ условий труда и  
расчет необходимого освещения. Пятый раздел описывает  
экономическую часть проекта, а именно план развития  
производства, расчет капитальных затрат, ожидаемой прибыли  
показателей технико-экономической эффективности.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

Во втором разделе дипломного проекта представлены  
схема структурной сети предприятия и схема  
сети предприятия после модернизации. Также представлена  
детальная структура кабеля, который использовался при  
проектировании оптической линии связи

#### Рекомендуемая основная литература

Агравал Г.П. Нематейная волоконная оптика - Мир, 1996.

Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, методы передачи,  
измерения. — Спутник систем, 1999.

Фришман Р. Волоконно-оптические системы связи - Техносфера, 2003.

Боксер П. Цифровая сеть с интеграцией мультимедиа. Принципы, методы,  
системы - Радио и связь, 2008.

Мискин А.В., Мискин В.Н., Мискин Д.В. Оптические волокна  
для линий связи. - Взяком, 2002.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Введение	Александров А.И.	17.03-03.06.14	Александров А.И.
Воп. техника	Артюхин А.В.	12.05-04.06.14	Артюхин А.В.
Тех. часть	Артюхин А.В.	17.03-04.06.14	Артюхин А.В.
Бизнес-план	Боксер П.И.	25.04-25.05.14	Боксер П.И.



**Г Р А Ф И К**  
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1	Вести передачу данных	17.03 - 21.03	Выполнено 5%
1.3	Основные сведения о OSPF	22.03 - 24.03	Выполнено 10%
1.4	Основные сведения о BOLT	25.03 - 27.03	Выполнено 15%
2.1	Описание структуры сети	27.03 - 29.03	Выполнено 20%
2.2	Техническое решение	29.03 - 01.04	Выполнено 25%
2.4	Повышение отказоустойчивости	02.04 - 06.04	Выполнено 30%
2.5	Описание оборудования	07.04 - 11.04	Выполнено 35%
3	Универсальный расчет BOLT	11.04 - 15.04	Выполнено 40%
3.1.2	Определение оптимальных путей	16.04 - 18.04	Выполнено 45%
3.1.5	Определение оптимальных маршрутов	19.04 - 22.04	Выполнено 45%
3.1.8	Определение безопасности сети	23.04 - 26.04	Выполнено 50%
3.1.10	Расчет параметров волоконно-оптической системы	26.04 - 30.04	Выполнено 55%
4	Безопасность информации	01.05 - 03.05	Выполнено 60%
4.1	Анализ условий труда	04.05 - 06.05	Выполнено 65%
4.3	Краткая характеристика помещений	07.05 - 10.05	Выполнено 70%
4.5	Расчет освещения точечным методом	11.05 - 16.05	Выполнено 75%
5	Бизнес план	17.05 - 19.05	Выполнено 75%
5.3	Характеристики отрасли	20.05 - 22.05	Выполнено 80%
5.6	План маркетинга	22.05 - 24.05	Выполнено 85%
5.7	План производства	25.05 - 27.05	Выполнено 90%
5.9	Расчет расходов	28.05 - 30.05	Выполнено 95%
5.10	Расчет доходов	01.06 - 02.06	Выполнено 96%
5.11	Расчет показателей эффективности проекта	02.06 - 04.06	Выполнено 100%

Дата выдачи задания « 1 » сентября 2013 г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель \_\_\_\_\_  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению студент \_\_\_\_\_  
(подпись) (Фамилия и инициалы)

## **Аңдатпа**

Менің дипломдық жобам Алматы-2 және оңүстік аумақтық деректер жіберу торап желісі арасындағы деректерді жіберу желісін жаңартуды сипаттайды.

Теориялық бөлімінде жүйенің жалпы жұмыс істеу технологиясы және мехнаизміне қатысты мәліметтерді сипаттайды. Есептеу бөлімінде есептеулер көмегімен негізгі ТОВЖ параметрлері анықталды.

Экономикалық бөлімінде күрделі қаржы жұмсалымының абсолюттік экономикалық тиімділігі есептелді және жобаның өтелу мерзімі анықталды.

Өміртіршілік қауіпсіздік бөлімінде табиғи және жасанды жарықтандыру есептеулері жүргізілді.

## **Аннотация**

Мой дипломный проект описывает модернизацию сети передачи данных между станцией Алматы-2 и южным региональным узлом сети передачи данных.

Теоретическая часть описывает сведения касательно технологий и механизмов работы системы в общем.

В расчетной части путем вычислений определяются основные параметры ВОЛС.

В экономической части произведен расчет абсолютной экономической эффективности капитальных вложений и определен срок окупаемости проекта.

В разделе безопасность жизнедеятельности произведен расчет искусственного и естественного освещения.

## **Abstract**

My graduation project describes the modernization of data transfer network between the Almaty-2 station and the southern regional node of data transfer network.

The theoretical part describes the information about technologies and mechanisms of the system operation in general.

In the calculations section the main FOCL parameters were determined.

The absolute economic efficiency of capital investments was calculated and payback period was defined in the economic part.

The artificial and natural lighting were calculated in the life safety part.

## Содержание

Введение.....	9
1 Существующее положение сети передачи данных .....	15
1.1 Сеть передачи данных .....	15
1.2 О сети «Казахстан Темир Жолы» .....	15
1.3 Основные сведения о OSPF.....	18
1.4 Основные сведения о ВОЛС .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
1.4.2 Моды, распространяющиеся в оптических волокнах .....	16
1.4.2 Одномодовые оптические волокна.....	18
1.4.3 Константа распространения и фазовая скорость .....	21
2 Пути модернизации существующей сети ..	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
2.1 Описание существующей сети.....	25
2.2 Техническое решение .....	23
2.3 Прокладка оптического кабеля в канализации .....	28
2.4 Повышение отказоустойчивости сети .....	26
2.5 Описание оборудования .....	27
2.5.1 Маршрутизатор Cisco 3845 .....	27
2.5.2 Коммутатор Cisco Catalyst 2960 24TT.....	29
2.5.3 Медиаконвертер D-Link DMC-1530SC.....	31
3 Расчет.....	32
3.1 Инженерный расчет ВОЛС .....	32
3.1.1 Определение пропускной способности проектируемой ВОЛС .....	32
3.1.2 Определение суммарных потерь в оптическом тракте .....	33
3.1.3 Расчет полного запаса мощности системы.....	35
3.1.4 Расчет энергетического запаса.....	35
3.1.5 Определение отношения сигнал/шум или вероятности ошибки, отводимой на длину участка .....	35
3.1.6 Определение уровня передачи мощности оптического излучения на выходе передающего оптического модуля (ПОМ).....	35
3.1.7 Определение уровня МДМ (порога чувствительности приемного оптического модуля – ПРОМ) .....	36
3.1.8 Определение быстродействия системы .....	37
3.1.9 Расчет надежности .....	38
3.1.10 Расчет параметров волновых световодов .....	39
4 Безопасность жизнедеятельности.....	48
4.1 Анализ условий труда.....	48
4.2 Выбор оборудования.....	49
4.3 Краткая характеристика помещения .....	51
4.3.1 Анализ естественного освещения.....	52
4.3.2 Анализ искусственного освещения .....	53

4.4	Расчёт искусственного освещения методом коэффициента использования	53
4.5	Расчет искусственного освещения точечным методом.....	54
4.6	Вывод.....	57
5	Бизнес–план .....	59
5.1	Резюме .....	59
5.2	Цели и задачи.....	59
5.3	Характеристика отрасли .....	59
5.4	Продукт .....	60
5.5	Технология и квалификация .....	60
5.6	План маркетинга.....	60
5.7	План производства .....	61
5.8	Организационный план .....	62
5.9	Расчет годовых эксплуатационных расходов.....	62
5.9.1	Расчет материальных затрат .....	63
5.9.2.	Расчет фонда оплаты труда .....	64
5.9.3	Расчет накладных расходов .....	65
5.10	Расчет доходов.....	66
5.11	Расчет показателей экономической эффективности .....	67
5.12	Метод расчета абсолютной величины чистого дохода NPV .....	68
5.13	Вывод по экономической части.....	69
	Заключение .....	70
	Список литературы .....	71
	Список сокращений .....	72
	Приложение А .....	73
	Приложение Б .....	74
	Приложение В.....	75

## Введение

Мир передачи информации и телекоммуникаций сталкивается с быстро растущей потребностью на предоставление частотных ресурсов. Эта закономерность объясняется увеличением числа пользователей сети а также с растущим взаимодействием разных организаций как в пределах одного государства, так и за ними. Полоса пропускания сетевых каналов из расчета на каждого пользователя резко возрастает. По этой причине операторы связи и вендоры для построения удовлетворяющих потребностям пользователей систем связи все чаще используют оптическое волокно. Это имеет отношение к проектированию обширных магистралей, и к локальным вычислительных сетях. Оптическое волокно (ОВ) в наши дни является совершеннейшей средой для передачи информации и наиболее перспективной средой для передачи больших потоков данных на большие расстояния. Сегодня оптоволокно находит практическое применение во многих задачах, которые связаны с передачей информации.

Обширное применение оптических линий связи стартовало примерно 40 лет назад, когда научные исследования технологий изготовления волокон позволили создавать линии связи большой длины. На сегодняшний день объемы инсталляций ВОЛС колосально выросли. В межрегиональном масштабе стоит отметить построение оптоволоконных сетей синхронной цифровой иерархии (SDH). Очень быстро входят в обращение волоконно–оптические интерфейсы в региональных и локальных сетях FDDI, Ethernet, Gigabit Ethernet, Fast Ethernet, ATM.

В нынешнее время в глобальном масштабе операторы, предоставляющие услуги связи, в год прокладывают тысячи километров оптоволоконных кабелей под поверхностью земли, по дну водоемов, рек, на линиях электро передач, в коллекторах и тоннелях. Множество крупных компаний, таких как: Lucent Technologies, IBM, Nortel, Alcoa Fujikura, Corning, Pirelli, Siemens, ведут масштабные разработки в области оптоволоконных технологий. Наиболее развитой является технология сверхплотного волнового мультиплексирования по длине волны DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), которая позволяет ощутимо повысить пропускную способность нынешних оптоволоконных магистралей.

Сферы различных применений ВОЛС обширны — от линий сельской и городской связи и бортовых комплексов (ракеты, самолеты, корабли) до систем передачи данных на огромные расстояния с высокой емкостью. Основываясь на оптической волоконной связи, возможно создать абсолютно новые системы передачи информации. На основе ВОЛС прогрессирует единая интегральная сеть многоцелевого назначения. Очень перспективно применение оптоволоконных сетей для реализации таких услуг, как кабельное телевидение, которое обеспечивает высокое качество изображения и ощутимо увеличивает возможности информационного обслуживания клиентов.



Многоканальные ВОСП обширно применяются на зонавых и магистральных сетях связи, а также для организации соединений между АТС городского типа. Это объяснимо следующим: по одному оптическому волокну могут одновременно распространяться различные сигналы на разных длинах волн, а именно через оптический кабель (ОК) могут передаваться большие объемы данных. Больше всего экономичны и эффективны подводные оптические магистральные линии связи.

В ВОЛС цифровые системы передачи данных нашли обширное распространение как самые приемлемые по своим физическим параметрам линии связи.

На основе оптических кабелей проектируются ЛВС различных топологий. Такие сети позволяют соединять вычислительные центры в целостную систему с достаточной пропускной способностью, повышенными требованиями к качеству и защищенности от несанкционированного допуска.

## **1 Существующее положение сети передачи данных**

### **1.1 Сеть передачи данных**

Сеть передачи данных — совокупность оконечных устройств (терминалов) связи, содиненных между собой каналами передачи данных и коммутирующими устройствами (узлами сети), обеспечивающими обмен информацией между всеми оконечными устройствами.

Существует несколько видов сетей передачи данных:

-телефонные сети — сети, в которых оконечными устройствами являются обычные преобразователи сигналов между электрическим сигналом и слышимым/видимым сигналом.

-компьютерные сети — сети, оконечными устройствами в которых являются ЭВМ.

По способу коммутации сети делятся на:

-сети с коммутацией каналов — для передачи данных между оконечными устройствами предоставляется канал, по которому возможна бесперебойная передача данных в определенный промежуток времени. Примером сети с коммутацией каналов является телефонная сеть. В таких сетях используются узлы довольно простой организации, вплоть до механической коммутации. Недостатком такой сети является неэффективное использование каналов связи, если поток информации малопредсказуемый и непостоянный.

-сети с коммутацией пакетов — данные, в пободных сетях, передаются короткими блоками — пакетами, которые не зависят друг от друга и коммутируются в один и тот же канал связи . Примером такой организации сети являются все локально вычислительные сети. Данный тип организации сетей отличатся высокой эффективностью использования каналов передачи информации, однако требует более сложного оборудования. [4].

### **1.2 О сети АО «Казахстан Темир Жолы»**

АО «Казахстан Темир Жолы» (АО «КТЖ») является крупнейшим перевозчиком пассажиров и грузов на территории Казахстана. За каждый вид предоставляемых услуг отвечают разные дочерние компании АО «КТЖ». Приоритет отдается пассажирским перевозкам, за которые отвечает АО «Пассажирские перевозки» (АО «ПП»). Для упрощения отчетности и контроля пассажиро-потока структура АО «ПП» поделена на три части: северный региональный филиал, южный региональный филиал, западный региональный филиал.

В соответствии с этим, разделена и структура сети передачи данных компании. Основным узлом и центральной базой данных в северном регионе, а так же и во всем Казахстане, является «Главный вычислительный центр» («ГВЦ»), который находится в городе Астана. Здесь хранится информация о

наличии свободных мест в поездах дальнего следования, стоимость проездных документов. В двух других филиалах основными являются «Региональные узлы сети передачи данных» («РУСПД»), они соединяются с «ГВЦ». Далее каждая конечная ж/д станция соединяется с соответствующим ей «РУСПД». Маршрутизация между ними осуществляется при помощи протокола OSPF.

### 1.3 Основные сведения о OSPF

OSPF (англ. Open Shortest Path First) — протокол динамической маршрутизации, основанный на отслеживании состояния канала (link-state technology) и использующий для поиска кратчайшего пути передачи пакета Алгоритм Дейкстры (Dijkstra's algorithm).

Протокол OSPF был разработан IETF в 1988 году. Протокол OSPF является протоколом внутреннего шлюза (Interior Gateway Protocol — IGP). Информация о достигаемых маршрутах распространяется только между маршрутизаторами одной автономной системы.

OSPF обладает несколькими преимуществами:

- скорость конвергенции сети выше чем у дистанционно-векторных протоколов маршрутизации;
- OSPF поддерживает сетевую маску переменной длины (VLSM);
- рациональное использование пропускной способности каналов связи (за счет построения дерева кратчайших путей по алгоритму Дейкстры).

Маршрутизаторы широковещательно отправляют hello-пакеты на все интерфейсы, на которых был поднят протокол OSPF. Маршрутизаторы, имеющие между собой физическое соединение, устанавливают отношения соседства, когда они приходят к договоренности об определённых параметрах, указанных в рассылаемых hello-пакетах.

Маршрутизаторы могут иметь несколько состояний:

Down state.

Начальное состояние, которое нуждается в детальном описании. Это состояние, когда маршрутизатор не обменивается пакетами с другими маршрутизаторами, он ждет переход в следующее состояние - Init State, состояние инициализации.

Init State.

В состоянии инициализации маршрутизаторы OSPF посылают Hello пакеты для установления связи с соседними устройствами каждые 10 секунд по умолчанию. Если интерфейсы получают Hello пакеты, то маршрутизатор переходит в состояние инициализации, маршрутизатор "осознает" что через этот интерфейс подключено соседнее устройство.

Состояние двусторонней связи (Two-way).

Все маршрутизаторы OSPF пытаются установить связь со своими соседями, это происходит за счет рассылки пакетов Hello. В Hello-пакете хранится список всех известных маршрутизатору соседей. Когда

маршрутизатор принимает Hello-пакет и находит в списке соседей себя, то считается что установлено состояние двусторонней связи. Это состояние является базовым, но его недостаточно для использования маршрутной информации.

#### ExStart.

Для установки состояния ExStart используется рассылка DBD пакетов (описание базы данных). Так же в этом состоянии происходят выборы ведущего маршрутизатора (master) и ведомого (slave). Выбор осуществляется на основе ID маршрутизатора. Маршрутизатор с наибольшим ID становится master'ом. После определения ролей маршрутизаторов, маршрутизаторы переходят состояние обмена Exchange.

#### Exchange

В состоянии Exchange, между маршрутизаторами происходит обмен информацией о состоянии каналов. После получения маршрутизатором подобной информации, маршрутизатор сравнивает ее с своей базой данных и если эта информация является для него новой, то он запрашивает полную информацию об этом канале. Полный обмен информацией происходит в состоянии - Loading.

#### Loading - состояние загрузки.

В состоянии Exchange, маршрутизатор принял информацию, которой нет в его базе данных, для предоставления ему полной информации о данном канале связи маршрутизатор посылает LSR (Link State Request) пакет-запрос соответствующему соседу. Сосед отвечает LSU (Link State Update) пакетом, который содержит в себе полную информацию о запрашиваемом канале. После получения LSU пакета, маршрутизатор подтверждает его получение соответствующим пакетом (LSAck).

#### Full adjacency - Состояние полной смежности.

После загрузки всех данных, в состоянии Loading, маршрутизаторы считаются смежными. Все маршрутизаторы имеют свою таблицу маршрутизаторов-соседей. На основе прохождения всех этапов в маршрутизаторах будут сформированы следующие базы данных:

база данных канального уровня - в этой базе данных находится полная информация о состоянии каналов всех сетевых маршрутизаторов, т.е. данная база данных хранит в себе общую сетевую топологию. Стоит заметить, что все маршрутизаторы будут иметь одну и ту же базу данных канального уровня.

база данных о смежных устройствах – база данных, хранящая в себе список устройств, с которыми маршрутизатор установил двусторонние соединения.

таблица маршрутизации. - перечень маршрутов, которые были сформированы каждым маршрутизатором с помощью алгоритма SPF. Эти маршруты определяются из БД канального уровня.

Когда базы данных построены, все маршрутизаторы используют алгоритм «кратчайший путь первым» для вычисления граф без колец,

который будет описывать кратчайший путь к каждому пункту назначения с собой в качестве корня. Этот граф — дерево кратчайших путей.

Все маршрутизаторы строят таблицы маршрутизации из своего дерева кратчайших путей.

## 1.4 Основные сведения о ВОЛС

В оптоволоконных системах передачи данные передаются высокочастотными электромагнитными волнами, порядка 200 ТГц, примерно равно крайнему диапазону инфракрасного оптического спектра 1500 нм. Средой передачи (волноводом), переносящей информационный сигнал в оптоволоконных системах передачи, являются оптические волокна (ОВ), которые обладают способностью передавать световое излучение с малыми потерями на большие расстояния. Общие потери количественно в оптическом волокне характеризуются затуханием. Дальность и скорость передачи данных характеризуются искажением оптических сигналов из-за затухания и дисперсии. Оптоволоконная сеть – это сеть передачи данных, в которой меж узловыми соединительными элементами являются оптоволоконные линии. Технологии построения оптических сетей охватывают не только вопросы волоконной оптики, но и вопросы передающего электронного оборудования, протоколов передачи данных, стандартизации, топологий сетей, вопросы построения оптических сетей. Оптическое волокно (ОВ) в наши дни является совершеннейшей средой для передачи информации и наиболее перспективной средой для передачи больших потоков данных на большие расстояния. Сегодня оптоволокно находит практическое применение во многих задачах, которые связаны с передачей информации. Главными причинами таких выводов являются основные особенности, которые характеризуют оптические волноводы:

широкополосность оптических сигналов, объясняется очень высокой частотой несущей  $f_0 = 10^{12} - 10^{14}$  Гц. Это значит, что по волноводам можно передавать информацию на скорости до  $10^{12}$  бит/с (1Тбит/с). Т.е., по одному волокну можно передать в один момент времени до миллиона видеосигналов и 10 миллионов телефонных звонков. Скорость передачи данных можно увеличить за счет распространения информации в двух направлениях одновременно, так как световые волны распространяются в одном волноводе независимо. Также, в оптоволокне могут передаваться световые сигналы с разными поляризациями, что позволит увеличить пропускную способность канала в два раза. В наше время предел плотности передаваемых данных по оптоволокну еще не достигнут;

крайне малое (в сравнении с остальными материалами) затухание светового сигнала в волоконно-оптических линиях связи. Лучшие типы волокна имеют затухание 0,22 дБ/км и меньше на длине волны 1,55 мкм, что позволяет прокладывать оптические линии связи длиной порядка 100 км без

регенерационных участков. Например лучшее волокно Sumitomo при длине волны 1,55 мкм имеет затухание 0,154 дБ/км. В лабораториях США ведутся разработки более «прозрачных», так называемых фторцирконатных оптических волокон с теоретическим пределом около 0,02 дБ/км при длине волны 2,5 мкм. С помощью лабораторных исследований было установлено, что могут быть построены линии связи, состоящие из таких волокон, имеющие длину участка 46000 км и скорость передачи данных 1 Гбит/с;

оптическое волокно изготавливается из кварца, основой которого является оксид кремния, который широко распространен, в следствие чего является недорогим материалом;

оптические волокна компактны и легки (диаметр волокон около 100 мкм), что позволяет использовать их в приборостроение, авиации, в кабельной технике;

системы связи, в основе которых лежит оптоволокно, устойчивы к электромагнитным воздействиям, а распространяемые по волноводам данные защищены от несанкционированного доступа. Перехват информации в оптических линиях связи невозможен без повреждения кабеля. Любые воздействия на оптическое волокно можно зафиксировать с помощью мониторинга состояния линий;

одно из главных свойств волокна — долговечность. Время жизни оптического волокна, то есть период времени в котором оно сохраняет свои свойства на определенном уровне, больше 25 лет, что позволяет построить линию связи одинажны, и при увеличении нагрузки на нее увеличивать полосу пропускания канала заменой передатчиков и приемников на более эффективные.

Оптоволоконные линии связи имеют следующие недостатки:

при создании оптической линии связи появляется необходимость в высоконадежных активных элементах, преобразующих электрические сигналы в свет, и наоборот. Для соединения оптических волокон с приемными и передающим оборудованием используются специальные соединители (оптические коннекторы), которые обладают малыми потерями и большими ресурсами на отключение-подключение. При изготовлении подобных элементов, погрешность не должна превышать доли микрона и быть равной длине волны светового излучения. В связи с этим производство таких элементов очень затратное;

другим недостатком необходимость дорогостоящего технологического оборудования для производства монтажа.

Поэтому при повреждении оптической линии связи затраты на восстановление больше, чем при обрыве медного кабеля. .

ВОЛС имеют больше преимуществ, нежели недостатков, в следствие чего все чаще применяются для организации сетей передачи данных[7].



#### 1.4.1 Моды, распространяющиеся в оптических волноводах

Распространение электромагнитных волн, в общем случае, описывает система уравнений Максвелла:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \vec{E} + \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} &= 0, \\ \operatorname{div} \vec{B} &= 0, \\ \operatorname{rot} \vec{H} - \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} &= \vec{j}, \\ \operatorname{div} \vec{D} &= \rho, \end{aligned} \quad (1.2)$$

где  $\rho$  – плотность электрического заряда,  $\vec{E}$  и  $\vec{H}$  – напряженности электрического и магнитного полей соответственно,  $\vec{j}$  – плотность тока,  $\vec{D}$  и  $\vec{B}$  – электрическая и магнитная индукции.

Представим напряженность магнитного и электрического поля  $\vec{H}$  и  $\vec{E}$  с помощью преобразования Фурье [4]:

$$\begin{aligned} \vec{E}(r, t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{\vec{E}}(r, \omega) e^{-j\omega t} d\omega \\ \vec{H}(r, t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \tilde{\vec{H}}(r, \omega) e^{-j\omega t} d\omega \end{aligned}, \quad (1.3)$$

тогда волновые уравнения будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \nabla^2 \tilde{\vec{E}} + \frac{\omega^2 n^2(\omega)}{c^2} \tilde{\vec{E}} &= 0 \\ \nabla^2 \tilde{\vec{H}} + \frac{\omega^2 n^2(\omega)}{c^2} \tilde{\vec{H}} &= 0 \end{aligned}, \quad (1.4)$$

где  $\nabla^2$  – оператор Лапласа.

Световод можно представить как идеальный цилиндр с продольной осью  $z$ , оси  $x$  и  $y$  в поперечной ( $xy$ ) плоскости образуют горизонтальную ( $xz$ ) и вертикальную ( $yz$ ) плоскости. В этой системе существуют 4 класса волн ( $E$  и  $H$  ортогональны):

поперечные  $T$ :  $E_z = H_z = 0$ ;  $E = E_y$ ;  $H = H_x$ ;

электрические  $E$ :  $E_z = 0$ ,  $H_z = 0$ ;  $E = (E_y, E_z)$  – распространяются в плоскости ( $yz$ );  $H = H_x$ ;

магнитные  $H$ :  $H_z = 0$ ,  $E_z = 0$ ;  $H = (H_x, H_z)$  – распространяются в плоскости ( $xz$ ),  $E = E_y$ ;

смешанные  $EH$  или  $HE$ :  $E_z = 0$ ,  $H_z = 0$ ;  $E = (E_y, E_z)$ ,  $H = (H_x, H_z)$  – распространяются в плоскостях ( $xz$ ) и ( $yz$ ).

Для решения системы уравнений Максвелла лучше всего использовать цилиндрические координаты  $(z, r, \varphi)$ , решение можно найти в виде волн с компонентами  $E_z, H_z$  вида:

$$\begin{aligned} E_z(r, \omega) &= A(\omega)F(r)e^{jm\varphi}e^{-j\beta \cdot z} \\ H_z(r, \omega) &= B(\omega)F(r)e^{jm\varphi}e^{-j\beta \cdot z}, \end{aligned} \quad (1.5)$$

где  $A(\omega)$  и  $B(\omega)$  – нормирующие постоянные,  $F(r)$  – искомая функция,  $\beta$  – продольный коэффициент распространения волны.

Решения для  $F(r)$  получаются в виде наборов из  $m$  (появляются целые индексы  $m$ ) простых функций Бесселя  $J_m(k_c r)$  для сердцевины и модифицированных функций Ханкеля  $H_m(k_{o\phi} r)$  для оболочки, где  $k_c = \sqrt{n_1^2 k^2 - \beta^2}$  и  $k_{o\phi} = \sqrt{n_2^2 k^2 - \beta^2}$  – поперечные коэффициенты распространения в сердцевине и оболочке соответственно,  $k = n\omega$  – волновое число. Параметр  $\beta$  можно найти как решение характеристического уравнения, полученного из граничных условий, требующих непрерывности тангенциальных составляющих компонент  $E_z$  и  $H_z$  электромагнитного поля на границе раздела оболочки и сердцевины. Характеристические уравнения, дают набор из  $n$  решений (появляются целые индексы  $n$ ) для каждого целого  $m$ , т.е. получаем  $\beta_{mn}$  собственных значений, каждому из которых соответствует определенный тип волны, называемый *модой*. В результате формируется набор мод, перебор которых основан на использовании двойных индексов.

Условием существования направляемой моды является экспоненциальное убывание ее поля в оболочке вдоль координаты  $r$ , что определяется значением поперечного коэффициента распространения в оболочке. При  $k_{o\phi} = 0$  устанавливается критический режим, заключающийся в невозможности существования направляемой моды, что соответствует [4]:

$$J_0(k_c r) = 0 \quad (1.6)$$

Последнее уравнение имеет бесчисленное множество решений [4]:

$$k_c r = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2) \cdot (kr)^2 - (k_{o\phi} r)^2} = \sqrt{(n_1^2 - n_2^2) \cdot (2\pi r / \lambda)^2 - (k_{o\phi} r)^2} \quad (1.7)$$

Введем величину, называемую нормированной частотой  $V$ , которая связывает структурные параметры ОВ и длину световой волны, и определяем ее следующим выражением:

$$V = \frac{2\pi r}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi r}{\lambda} NA, \quad (1.8)$$

При  $k_{o\phi} = 0$  для каждого из решений уравнения (2.4.5) имеет место критическое значение нормированной частоты  $V_{nm}$  ( $m = 1, 2, 3 \dots, n = 0, 1, 2, 3 \dots$ ):

$$V_{01} = 2,405; V_{02} = 5,520 \text{ и т.д.}$$

Для моды  $HE_{11}$  критическое значение нормированной частоты  $V_{11} = 0$ . Эта мода распространяется при любой частоте и структурных параметрах волокна и является фундаментальной модой ступенчатого ОВ. Выбирая параметры ОВ можно добиться режима распространения только этой моды, что осуществляется при условии:

$$V = \frac{2\pi r}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} < 2,405 \quad (1.9)$$

Минимальная длина волны, при которой в ОВ распространяется фундаментальная мода, называется волоконной длиной волны отсечки. Значение определяется из последнего выражения как:

$$\lambda_{CF} = 2\pi r \sqrt{n_1^2 - n_2^2} / 2,405 \quad (1.10)$$

#### 1.4.2 Одномодовые оптические волокна

*Одномодовые волокна* делятся на ступенчатые одномодовые волокна (step index single mode fiber) или стандартные волокна SF (standard fiber), на волокна со смещенной дисперсией DSF (dispersion-shifted single mode fiber), и на волокна с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF (non-zero dispersion-shifted single mode fiber).

В ступенчатом одномодовом оптическом волокне (SF) (рисунок 1.6) диаметр световой жилы равен 8–10 мкм и соизмерим с длиной световой волны. В этом волокне при ощутимо большой длине волны света  $\lambda > \lambda_{CF}$  ( $\lambda_{CF}$  – длина волны отсечки) распространяется лишь один луч. Одномодовая передача в оптических волокнах реализуется в окнах прозрачности 1550 нм и 1310 нм. Распространение по волокну лишь одной моды уничтожает межмодовую дисперсию и обеспечивает достаточно высокую пропускную способность волокна в данных окнах прозрачности. Наиболее эффективный режим распространения света с точки зрения дисперсии, достигается в пределах длины волны 1310 нм, при которой хроматическая дисперсия обращается в ноль. С точки зрения потерь это не самое удачное окно прозрачности. В данном окне потери составляют порядка 0,3 – 0,4 дБ/км, в то время как наименьшее затухание 0,20 – 0,25 дБ/км достигается в окне 1550 нм.

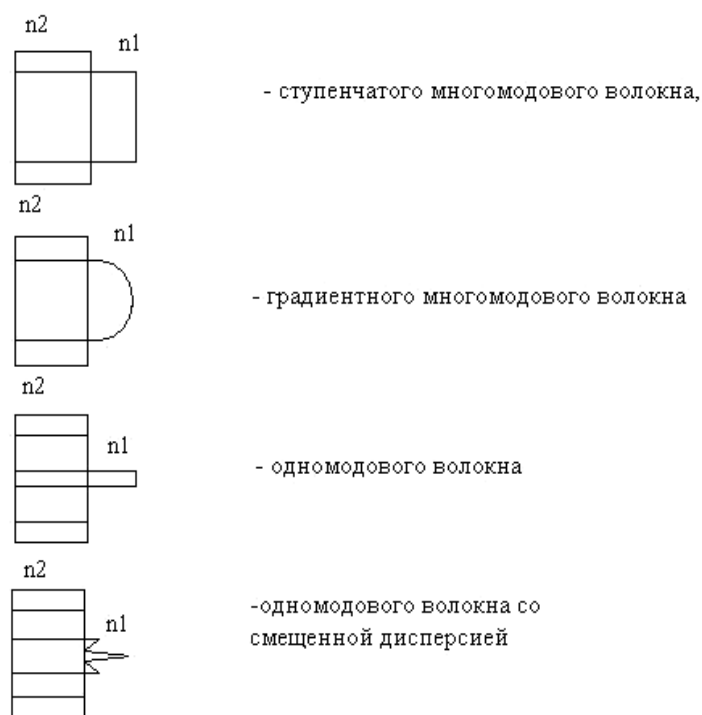


Рисунок 1.6 – Профили показателя преломления

В одномодовом оптическом волокне со смещенной дисперсией (DSF) (рисунок 1.6) длина волны, на которой дисперсия обращается в ноль, – длина волны нулевой дисперсии  $\lambda_0$  – смещена в окно прозрачности 1550 нм. Такое смещение достигается благодаря специальному профилю показателя преломления волокна. Таким образом, в волокне со смещенной дисперсией реализуются наилучшие характеристики, как по минимуму дисперсии, так и по минимуму потерь. Поэтому такое волокно лучше подходит для строительства протяженных сегментов с расстоянием между ретрансляторами до 100 и более км. Разумеется, единственная рабочая длина волны берется близкой к: 1550 нм.

Одномодовое оптическое волокно с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF в отличие от DSF оптимизировано для передачи не одной длины волны, а сразу нескольких длин волн (мультиплексного волнового сигнала) и наиболее эффективно может использоваться при построении магистралей «полностью оптических сетей» – сетей, на узлах которых не происходит оптоэлектронного преобразования при распространении оптического сигнала.

Оптимизация трех перечисленных типов одномодовых ОВ совершенно не означает, что они всегда должны использоваться исключительно под определенные задачи: SF – передача сигнала на длине волны 1310 нм, DSF – передача сигнала на длине волны 1550 нм, NZDSF – передача мультиплексного сигнала в окне 1530–1560 нм. Так, например, мультиплексный сигнал в окне 1530–1560 нм можно передавать и по стандартному ступенчатому одномодовому волокну SF [4]. Однако длина безретрансляционного участка при использовании волокна SF будет меньше, чем при использовании NZDSF, или иначе потребуется очень узкая полоса

спектрального излучения лазерных передатчиков для уменьшения результирующей хроматической дисперсии. Максимальное допустимое расстояние определяется техническими характеристиками как самого волокна (затуханием, дисперсией), так и приемопередающего оборудования (мощностью, частотой, спектральным уширением излучения передатчика, чувствительностью приемника).

В ВОЛС наиболее широко используются следующие стандарты волокон:

- многомодовое градиентное волокно 50/125;
- многомодовое градиентное волокно 62,5/125;
- одномодовое ступенчатое волокно SF (волокно с несмещенной дисперсией или стандартное волокно) 8–10/125;
- одномодовое волокно со смещенной дисперсией DSF 8–10/125;
- одномодовое волокно с ненулевой смещенной дисперсией NZDSF (по профилю показателя преломления это волокно схоже с предыдущим типом волокна).

#### 1.4.3 Константа распространения и фазовая скорость

Волновое число  $k$  рассматривается как вектор, направленный в сторону распространения света в объемных средах. Данный вектор имеет название волновой вектор. В среде с показателем преломления  $n_1$  значение волнового вектора будет равно  $n_1 k$ . Если свет распространяется внутри волновода, то направление распространения света и направление проекции  $\beta$  волнового вектора  $k$ , на ось волновода совпадают:

$$\beta = n_1 k \sin i = n_1 k \cos \theta \quad (1.11)$$

где  $\theta$  – угол, дополняющий угол  $i$  до  $90^\circ$  (или угол между осью и лучем, как показано на рисунке 1.7),  $\beta$  имеет название константа распространения и имеет роль в волноводе, схожую с волновым числом  $k$  в свободном пространстве [5]. Т.к.  $\beta = \beta(\lambda)$ , то  $\theta$  и  $i$  зависят от длины волны.

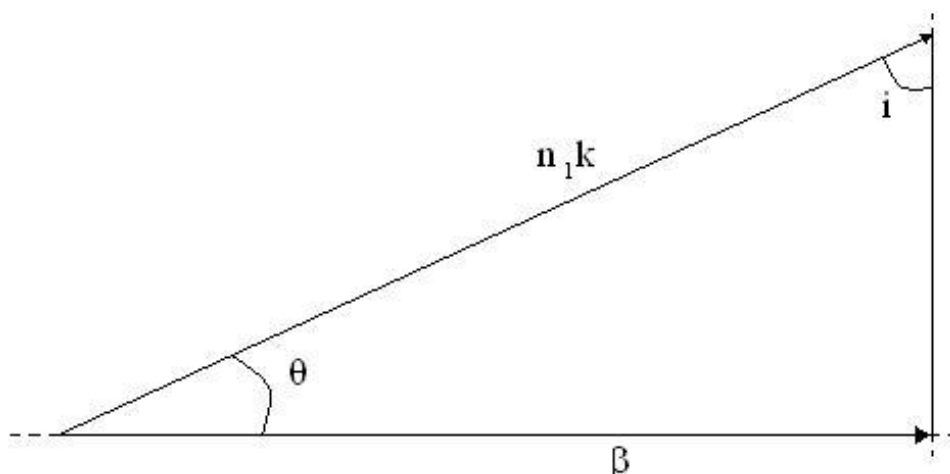


Рисунок 1.7 – Волновой вектор и константа распространения

Угол падения  $i$  изменяется между  $i_c$  и  $\pi/2$ . Следовательно:

$$kn_1 < \beta < kn_2 \quad (1.12)$$

значит значение константы распространения внутри волновода всегда находится между величинами волновых чисел плоской световой волны в материале оболочки и сердцевины. Зная, что  $c = \frac{\omega}{k}$ , то запись соотношения на языке фазовых скоростей будет иметь вид:

$$\frac{c}{n_1} < v < \frac{c}{n_2} \quad (1.13)$$

Фазовые скорости распространения мод  $v = \frac{\omega}{\beta}$  заключены между фазовыми скоростями волн в двух объемных материалах.

Скорость распространения светового сигнала или групповая скорость – это скорость распространения огибающей светового импульса. В общем случае групповая скорость  $u$  не равна фазовой скорости. Различие фазовых скоростей мод приводит к искажению входного пучка света по мере его распространения в волокне.





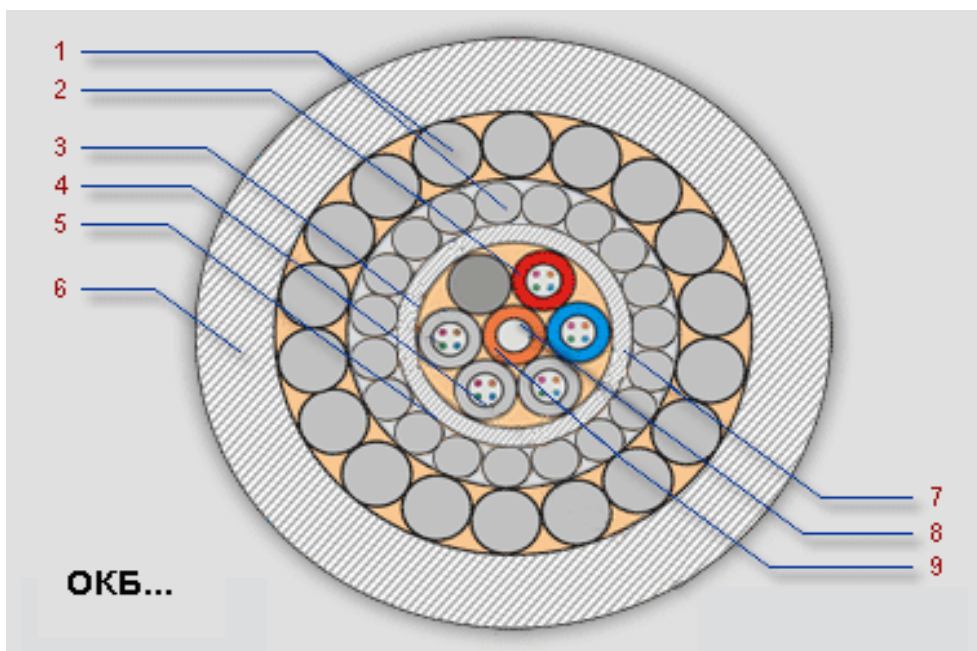


Рисунок 2.2 – Структура кабеля ОКБ-6(2.0)Сп-48(2).

Структура кабеля:

- 1-Броня из круглых стальных проволок двухслойная
- 2-Оптический модуль
- 3-Гидроизоляция сердечника (гидрофобный наполнитель или водоблокирующая бумага)
- 4-Оптическое волокно:
  - одномодовое, рекомендация ITU-T G.652.B (в маркировке тип “Е”);
  - одномодовое, рекомендация ITU-T G.652.C,D (в маркировке тип “А”);
  - одномодовое, рекомендация ITU-T G.655 (в маркировке тип “Н”);
  - многомодовое, с сердцевиной диаметром 50 мкм, рекомендация ITU-T G.651 (в маркировке тип “М”);
  - многомодовое, с сердцевиной диаметром 62,5 мкм (в маркировке тип “В”)
- 5-Гидроизоляция бронирующего слоя (гидрофобный наполнитель или водоблокирующая бумага)
- 6-Защитная оболочка (полиэтилен или полимер, не распространяющий горение)
- 7-Промежуточная оболочка (полиэтилен)
- 8-Осевой элемент:
  - стальной канат (стренга, канат, проволока) в полимерном покрытии или без;
  - стеклопластиковый пруток в полимерном покрытии или без
- 9-Внутримодульный гидрофобный наполнитель

## 2.3 Прокладка оптического кабеля в канализации

Обычно в населенных пунктах оптический кабель (ОК) прокладывается в кабельной канализации (КК). Это делается для того, чтобы иметь быстрый доступ к обслуживанию в случае повреждения или дополнительных подключений. В большинстве случаев, для прокладки кабеля используются существующие сооружения туннельного типа, такие как канализации, коллекторы.



Рисунок 2.3 – Кабельный колодец изнутри

За частую в районах с большой застройкой, в кабельных канализациях строятся несколько каналов в виде труб, которые имеют диаметр 110мм. Прокладка оптической линии связи реализуется в канале, который указан в выданных технических условиях или в пустом канале, если его номер не указан в проекте.

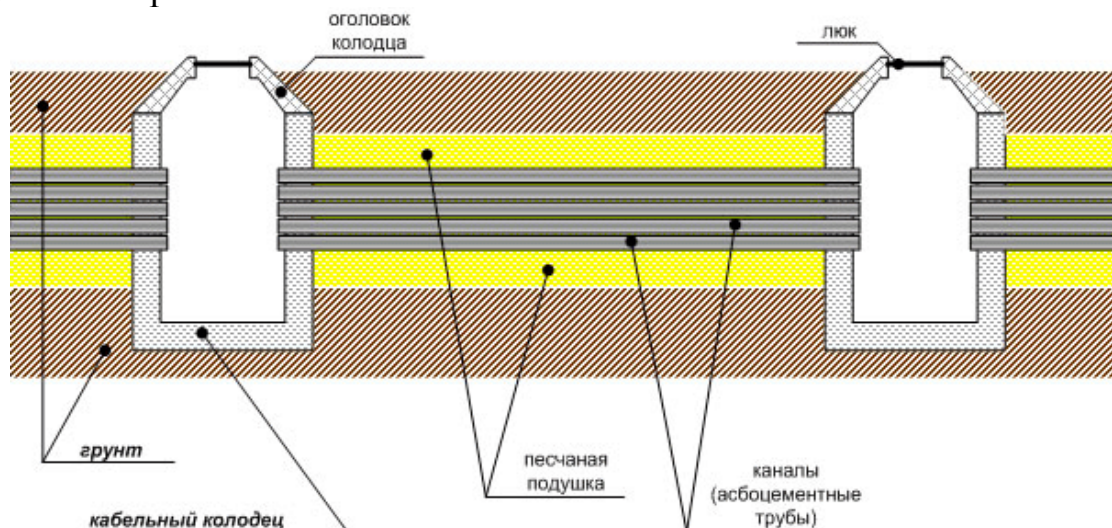


Рисунок 2.4 – Кабельная канализация

Перед тем, как проложить кабель в канализации нужно провести обследование трассы при помощи УЗК (устройство закладки кабеля), а также

проверить состояние колодца на наличие повреждений и консолей для укладки кабеля и организации технологических запасов.

Чтобы проложить оптическую линию связи необходимо учесть определённые факторы:

- кабель не разрешается тянуть с усилием превышающим указанное на маркировке, либо в паспорте кабеля;

- во время натяжения при прокладке радиус изгиба кабеля не должен быть меньше 20-и диаметров сечения кабеля;

- нельзя допустить попадание в канал петель из кабеля (баранов);

- при прокладке кабеля в занятом канале, нужно использовать мягкую пластиковую прокладку, чтобы уменьшить трение и повреждения оболочки кабеля. Это очень важно, если вы прокладываете кабель в кабельной канализации, в которой кабеля находятся под давлением;

- во время прокладки ВОЛС кабель необходимо равномерно подавать в канал, не допускать через мерного натяжения, превышающего нормальное значение;

- нельзя пользоваться смазкой для уменьшения трения, во имя избежания повреждения оболочки кабеля в случае её полимеризации;

- чаще всего катушка с оптическим кабелем устанавливается в середине трассы, либо там, где она сгибается во избежании перетирания кабеля во время прокладки.

Если оптический кабель прокладывается с помощью тягового или лебёточного механизма, то в месте ввода кабеля в колодец, используют роликовый механизм. Он предотвращает повреждение кабеля. Скорость прокладки кабеля не должна превышать 30 м/мин. В проходных колодцах кабель прикрепляется к стенкам и подвязывается на консоли стяжками. Место ввода оптического кабеля в колодец герметизируется проходным сальником, во избежание заиливания, затопления каналов в весеннее время.

В оконечных колодцах оставляют достаточный запас кабеля для монтажа оптических муфт с выносом кабеля в специализированный автомобиль (оптическая лаборатория), в котором проводятся оптические измерения и сварка волокон.

Трасса прокладки ВОЛС начинается от существующего оптического кросса, установленного в помещении провайдера. От оптического кросса прокладывается оптический станционный кабель (ОКС) емкостью 192 волокна до помещения шахты. В помещении шахты проектом предусмотрен монтаж оптической муфты типа ВРЕО II. От помещения шахты далее по существующей телефонной канализации, проектом предусматривается прокладка оптического бронированного кабеля (ОКБ-48).[5]

От основного оптического кабеля (ОКБ-48), при помощи оптической муфты со сплиттерами монтируемой в колодце, предусматривается прокладка оптического бронированного кабеля необходимой емкости до подвала станции Алматы-2. В подвальном помещении на кабеле монтируются

разветвительная муфта, от которой в серверную прокладывают 2-х волоконный ОК.

Прокладка оптического кабеля ОК-2 по подвалам по фасаду здания предусматривается в трубке ПВХ-40 и ПВХ-50, по закладным устройствам предусматривается в трубке ПВХ-32 серого цвета.

## 2.5 Повышение отказоустойчивости сети

После завершения строительства нового канала связи необходимо установить на обоих его концах пару маршрутизаторов Cisco 3845, настроить между ними динамическую маршрутизацию по протоколу OSPF. Данный дипломный проект предусматривает модернизацию сети не только путем добавления нового канала связи, но и повышением отказоустойчивости новой сети. Повышение отказоустойчивости реализовано настройкой на маршрутизаторах протокола VRRP.

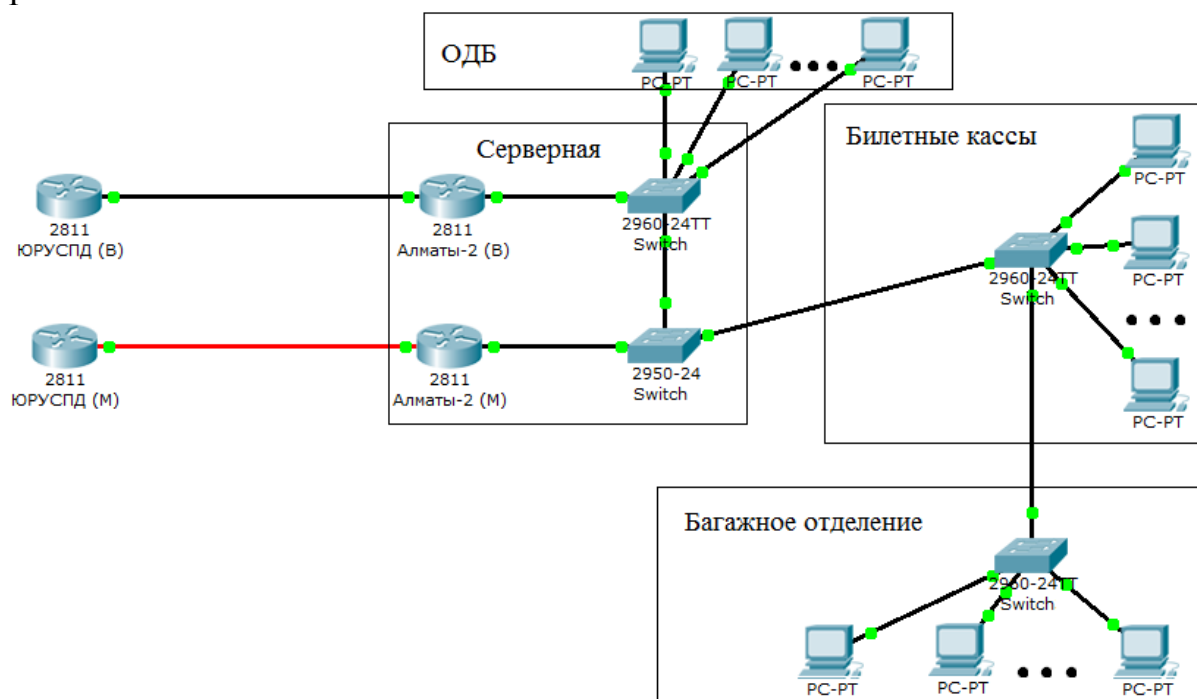


Рисунок 2.5 – Схема модернизированной сети

VRRP (Virtual Router Redundancy Protocol) — сетевой протокол, предназначенный для увеличения доступности маршрутизаторов выполняющих роль шлюза по умолчанию т.е. резервирование маршрутов. Это достигается путём объединения группы маршрутизаторов в один виртуальный маршрутизатор и назначения им общего IP-адреса, который и будет использоваться как шлюз по умолчанию для компьютеров в сети.



## 2.6 Описание оборудования

### 2.6.1 Маршрутизатор Cisco 3845

Маршрутизатор с интегрированными сервисами Cisco 3845 (Cisco 3845 Integrated Services Router) является частью серии Cisco 3800, входящей в ассортимент маршрутизаторов с интегрированными сервисами Cisco.

Маршрутизатор с интегрированными сервисами Cisco 3845 поддерживает следующие функции:

- Одновременная работа различных сервисов (например, обеспечения безопасности и голосовой связи) со скоростью физической линии, а также расширенных сервисов на полных скоростях T3/E3

- Отличная защита инвестиций благодаря повышенной производительности и модульности

- Отличная защита инвестиций благодаря повышенной модульности

- Увеличенная плотность благодаря четырем слотам высокоскоростных интерфейсных карт распределенных сетей

- Слот расширенного сетевого модуля

- Поддержка более 90 существующих и новых модулей

- Поддержка большинства существующих модулей AIM, NM, WIC, VWIC и VIC

- Встроенные порты GE с поддержкой оптических сетей и сетей на основе витой пары

- Возможность поддержки коммутации 2-го уровня с функцией питания по витой паре (PoE) (как опция), поддержка 36-портового модуля Cisco EtherSwitch (NMD-36ESW)

- Безопасность

- Встроенная система шифрования

- Поддержка до 2500 туннелей виртуальных частных сетей (VPN) с модулем AIM-NPII-PLUS

- Система защиты от вирусов с использованием технологии контроля доступа в сеть (NAC)

- Система предотвращения вторжений, поддержка межсетевого экрана с полным контролем состояния соединений Cisco IOS, а также другие важнейшие функции системы безопасности

- Передача голоса

- Поддержка аналоговых и цифровых голосовых вызовов

- Возможность поддержки функций голосовой почты

- Возможность поддержки Cisco CallManager Express для обработки голосовых вызовов на предприятии

- Возможность поддержки решения телефонии для удаленных объектов с возможностью автономной работы (Survivable Remote Site Telephony) для обработки голосовых вызовов в филиалах небольших предприятий (до 720 IP-телефонов)



- Маршрутизация пакетов: до 500.000 пакетов/сек  
до 256 Мбит/сек
- Производительность в приложениях VPN со встроенным ускорителем шифрования: до 700 VPN-туннелей, 3DES, AES - 180 Mbps
- Производительность в приложениях VPN при установленном модуле AIM-VPN/SSL-2: до 2500 VPN туннелей, 3DES, AES - до 210 Mbps
- Производительность межсетевого экрана:  
до 1.1 Gbps
- Число телефонов в IP ATC CallManager Express:  
до 240 IP-телефонов
- Число телефонов в IP ATC Survivable Remote Site Telephony:  
до 720 IP-телефонов
- Число одновременных звонков по цифровым каналам:  
до 480
- Число аналоговых телефонных линий:  
до 52 FXS, 36 FXO
- Число ящиков голосовой почты:  
до 120
- Максимальное число NME и NME-X модулей : 4
- Максимальное число NMD/NME-XD модулей: 2
- Максимальное число EVM-HD модулей : 2
- Максимальное число слотов HWIC (поддержка VIC, VWIC и WIC модулей): 4
- Порты Gigabit Ethernet (10/100/1000): 2
- Число SFP-слотов: 1
- Число AIM-слотов: 2
- Число PVDM-слотов (расширение) : 4
- Порты USB 1.1 ports (для USB Flash memory, security tokens и off-platform storage of VPN credentials) : 2
- Управляющий порт (console ports) : 1
- Auxiliary port (up to 115.2 kbps): 1
- Flash memory: Default-64 MB  
Maximum-256 MB
- Размеры (мм.) 135 x 443 x 411
- Rack Unit (RU) 3
- Вес (minimum) 20.32 кг
- Условия эксплуатации:
  - Температура окружающей среды: от 0 °C до +40 °C;
  - Влажность 5–95 %, без конденсации.
- Источник питания:
  - Входное напряжение: 100–240 В AC, 50–60 Гц;
  - Выходное напряжение: 11–14 В DC, 2 А.



Рисунок 2.6 - Маршрутизатор Cisco 3845

#### 2.6.2 Коммутатор Cisco Catalyst 2960 24TT

Cisco 2960-24TT имеет 24 базовых порта FastEthernet 10/100 Мбит/сек, поддерживает стандарты Auto MDI/MDIX, IEEE 802.1p (Priority tags), IEEE 802.1q (VLAN), IEEE 802.1d (Spanning Tree), IEEE 802.1s (Multiple Spanning Tree), оборудованный двумя портами Gigabit Ethernet и 24 портами FastEthernet.

Коммутатор Cisco 2960 24TT поддерживает передачу голоса, данных и видео, а также безопасный доступ. Кроме того, устройство предоставляет масштабируемое управление по мере изменения потребностей вашего бизнеса.



Рисунок 2.6 - Коммутатор Cisco 2960 24TT

Размеры (ширина x высота x глубина): 44.5 x 4.4 x 23.6 мм

Вес: 3.6 кг

Рабочая температура: 0 ~ 45°C

Условия эксплуатации:

- температура окружающей среды: от 0 °С до +40 °С;
- влажность 5–95 %, без конденсации.

Источник питания:

- входное напряжение: 100–240 В AC, 50–60 Гц;
- выходное напряжение: 11–14 В DC, 2 А.

### 2.3.3 Медиаконвертер D-Link DMC-1530SC

Данный медиаконвертер поддерживает интеллектуальные функции, такие как LLCF, LLR, механизм store-and-forward, управление потоком по стандарту 802.3х и метод «back-pressure». Медиаконвертер преобразует сигнал из стандарта 10BASE-T /100BASE-TX Fast Ethernet на витой паре в сигнал стандарта 100BASE-FX Fast Ethernet по одномодовому оптоволокну. Максимальная длина оптического кабеля – 30 км. Устройство оснащено 1 портом RJ-45 для витой пары и 1 оптическим портом с разъемом SC.

Функциональные возможности медиаконвертера:

- преобразование среды передачи данных между 10/100BASE-TX и 100BASE-FX

- 1 порт для подключения одномодового оптического кабеля с SC-коннектором

- автоопределение скорости и автосогласование режима дуплекса на порту 100BASE-TX

- поддержка Link Pass Through

- автоматическое определение полярности MDI/MDIX на порту 100BASE-TX

- переключатель для фиксированной настройки режима полного дуплекса или полудуплекса

- переключатель для установки принудительного режима или режима автоопределения скорости

- переключатель для установки скорости

- переключатель для настройки функций LLCF, LLR

- режим передачи Store-and-forward

- режим Back-pressure и управление потоком IEEE802.3х

- передача на полной скорости канала

- индикаторы состояния на передней панели

- возможность использования в качестве отдельного устройства или при установке в шасси

- горячая замена при установке в шасси

- возможность удаленного управления при установке в шасси (при наличии модуля управления)

Индикаторы:

- Power, 100Мбит/с (для порта на витой паре)

- Full Duplex/Collision (для оптического порта и порта на витой паре)

-LINK/ACT (для порта на витой паре), Fail (для оптического порта и порта на витой паре)

Питание:

7,5В 1,5А, внешний адаптер питания

Мощность:

7.2 Вт (макс.)

Размеры:

120 x 88 x 25 мм

Вес:

305 г

Рабочая температура:

От 0 до 40°C

Влажность:

10 ~ 90% без конденсата



Рисунок 2.6 - Медиаконвертер D-Link DMC-1530SC

### 3 Расчет

#### 3.1 Инженерный расчет ВОЛС

##### 3.1.1 Определение пропускной способности проектируемой ВОЛС

Максимальное количество данных, которое возможно передать по оптоволокну единичной длины, определяется полосой пропускания этого волокна. Полоса пропускания волокна зависит от таких параметров как дисперсия. Чем меньше значение дисперсии, тем больше данных можно передать по волокну.

Полоса пропускания оптического кабеля определяется:

$$W = \frac{0,44}{\tau}, \quad (3.1)$$

$$W = \frac{0,44}{0,5 \cdot 10^{-12}} = 8,8 \cdot 10^{11} \text{ Гц} \cdot \text{км при длине волны в } 1550 \text{ нм.}$$

где  $\tau$  – результирующая дисперсия оптического волокна, с/км, определяется по формуле

$$\tau^2 = \tau_{\text{mod}}^2 + \tau_{\text{chr}}^2, \quad (3.2)$$

$$\tau = \sqrt{0^2 + (0,5)^2} = 0,5 \text{ пс/км, при длине волны в } 1550 \text{ нм.}$$

где  $\tau_{\text{mod}}$  – межмодовая дисперсия, которая обусловлена разницей между скоростями распространения направляемых мод;

$\tau_{\text{chr}}$  – хроматическая (частотная) дисперсия, которая обусловлена не когерентностью источника излучения и зависимостью показателя преломления и коэффициента распространения моды от длины волны.

В многомодовых оптических волокнах межмодовая дисперсия является определяющей, в одномодовых волокнах существует только хроматическая дисперсия.

Для одномодового оптического волокна используют значение дисперсии, нормированное на километр длины волокна, нанометр ширины спектра источника, которое называется удельной хроматической дисперсией.

При проверке пропускной способности оптического кабеля удельную полосу пропускания делят на длину кабельного участка. Посчитанный результат сравнивают с минимальной шириной полосы пропускания, необходимой для определенного вида оборудования.

Несоблюдение условия превышения ширины полосы пропускания минимально допустимого значения влечет за собой увеличение межсимвольной интерференции, что в свою очередь сопровождается резким ростом вероятности появления ошибок при процессе передачи данных даже тогда, когда есть запас мощности оптического сигнала. Для устранения этой проблемы можно прибегнуть к следующим мерам:

-поиск новой трассы прокладки кабеля с меньшей длиной участка;

-использование другого кабеля, обладающего характеристиками лучше нынешнего кабеля;

-смена длины волны, на которой оптические волокна обладают наименьшей дисперсией.

### 3.1.2 Определение суммарных потерь в оптическом тракте

Суммарное затухание определяется алгебраической суммой потерь мощности в оптическом волокне и потерь в неразъемных и разъемных соединениях.

Суммарные потери (дБ) рассчитываются по формуле

$$a_{\Sigma} = n_{p.c} \cdot a_{p.c} + n_{н.с} \cdot a_{н.с} + a_t + a_v, \quad (3.3)$$

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

$a_{p.c}$  – потери в разъемных соединениях  $a_{p.c} = 0,25$  дБ;

$n_{н.с}$  – количество неразъемных соединений;

$a_{н.с}$  – потери в неразъемных соединениях  $a_{н.с} = 0,02$  дБ;

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

$a$  – коэффициент затухания ОВ.

$$n_{н.с.} = 3$$

$$n_{p.c.} = 3$$

$$a_{\Sigma} = 3 \cdot 0,25 + 3 \cdot 0,02 + 5 = 5,81 \text{ дБ}$$

$$\mathcal{E}_П = -3 - (-28) = 25, \text{ дБ}$$

При учете энергетического потенциала системы, допустимые потери в волоконно–оптическом кабеле будут равны

$$a_{\text{доп}} = \mathcal{E}_П - a_{\Sigma}, \quad (3.4)$$

$$a_{\text{доп}} = 25 - 5,81 = 19,19 \text{ дБ}$$

Оптическая кабельная система состоит из всех элементов, обеспечивающих соединение приемника и передатчика оптического интерфейса:

-оптический кабель;

-соединительные шнуры;

-оптические переключатели;

-разъемные соединители;



-неразъемные соединители.

При прохождении трассы через каждого элемент оптический сигнал начинает нести потери. На компенсацию этих потерь в кабеле тратится только часть энергетического потенциала приемо-передатчиков оптической аппаратуры. Оставшаяся часть энергетического потенциала уходит на потери в неразъемных соединителях, перемычках, коннекторах оптических кроссов, и т.д.

Параметры всей кабельной системы должны удовлетворять следующее неравенство:

$$\sum L_j \alpha_j + n_{\text{н.с}} a_{\text{н.с}} + n_{\text{р.с}} a_{\text{р.с}} + n_n A_{\Delta} + 3 \leq \mathcal{E}_{\Pi}, \quad (3.5)$$

где  $L_j$  – длина отрезка оптического кабеля  $j$  – того типа, причем  $\sum L_j = L$  – общая длина оптического тракта;

$\alpha_j$  – коэффициент затухания оптического кабеля  $j$  – того типа;

$A_{\Delta}$  – потери получающиеся при переходе с волокна в волокно с разными диаметрами сердечника или с одинаковым диаметром сердечника но разными числовыми апертурами;  $n_n$  – количество точек перехода;

3 – энергетический запас, принимаемый равным 2–3 дБ и используемый в процессе эксплуатации волоконно–оптического канала связи на старение элементов, введение сростков новых неразъемных соединителей при ремонтах, модернизациях и т.д;

$\mathcal{E}_{\Pi}$  – энергетический потенциал аппаратуры, численно равный общему допустимому затуханию оптического сигнала в тракте.

$$\alpha \sum = 2,09 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,02 + 3 \cdot 0,25 + 3 \leq \mathcal{E}_{\Pi} \Rightarrow 4,6 \text{ дБ} \leq 25, \text{ при длине волны в } 1310 \text{ нм.}$$

$$\alpha \sum = 2,09 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,02 + 3 \cdot 0,25 + 3 \leq \mathcal{E}_{\Pi} \Rightarrow 4,4 \text{ дБ} \leq 25, \text{ при длине волны в } 1550 \text{ нм.}$$

4 дБ < 25 дБ Неравенство верно

Расчеты производились из предположения, что используются:

– автоматический сварочный аппарат – *S-174H Fitel Furukawa Optical Fiber System* с типовыми потерями на стыке 0,02 дБ;

– разъемные соединители типа SC (керамика) со средними потерями на длине волны 1,3 мкм для одномодового волоконного световода 0,25 дБ.

### 3.1.3 Расчет полного запаса мощности системы

Энергетический потенциал можно определить по формуле

$$\Pi = P_{\text{пер}} - a_{\text{вх}} - a_{\text{вых}} - P_{\text{пр мин}}, \quad (3.6)$$

где  $P_{\text{пер}}$  – уровень выходной мощности оптического излучателя, –3 дБм.

$P_{np.min}$  – чувствительность приёмника, –28 дБм

$\alpha_{ex}, \alpha_{вых}$  – потери на входе и выходе

$\alpha_{ex} = \alpha_{вых} = 0,25 \text{ дБ}$ .

$$\Pi = -3 - 0,25 - 0,25 + 28 = 24,5, \text{ дБ}$$

### 3.1.4 Расчет энергетического запаса

Энергетический запас системы определяются разностью полного запаса мощности и суммарного затухания. Значение энергетического запаса работоспособной системы должно быть положительным.

$$\Pi - \alpha_{\Sigma} \geq 0 \quad (3.7)$$

$$24,5 - 5,81 = 18,69 \geq 0$$

Неравенство верно, удовлетворяет условию.

### 3.1.5 Определение отношения сигнал/шум или вероятности ошибки, отводимой на длину участка

Отношение сигнал/шум или вероятность ошибки, отводимые на длину участка для цифровой волоконно–оптической системы связи, определяется по формуле

$$p_{ош} = p' \cdot l_{py}, \quad (3.8)$$

где  $p'$  – вероятность ошибки, приходящаяся на 1 км оптического линейного тракта (для магистральной сети  $10^{-11}$ , для внутризонавой  $1,67 \cdot 10^{-10}$ , для местной  $10^{-9}$ ).

Обычно  $p_{ош} = 10^{-8} - 10^{-9}$ .

Для моего случая  $p_{ош} = 10^{-9}$

$$p_{ош} = 2,09 \cdot 10^{-9}, \text{ при длине волны в } 1310 \text{ нм.}$$

$$p_{ош} = 2,09 \cdot 10^{-9}, \text{ при длине волны в } 1550 \text{ нм.}$$

### 3.1.6 Определение уровня передачи мощности оптического излучения на выходе передающего оптического модуля (ПОМ)

Уровень передачи мощности оптического излучения на выходе ПОМ, дБм, определяется по формуле

$$P_{пер} = P_c - \Delta P, \quad (3.9)$$

где  $P_c$  – уровень средней мощности оптического сигнала на выходе источника излучения;

$\Delta P$  – снижение уровня средней мощности, зависящее от характера сигнала (для кода NRZ 3дБ, для RZ 6дБ).

$$P_{пер} = 0 - 3 = -3$$

### 3.1.7 Определение уровня МДМ (порога чувствительности приемного оптического модуля – ПРОМ)

Уровень МДМ (порог чувствительности ПРОМ):  
для *pin*-фотодиода

$$P_{\min} = \begin{cases} -55 + 11 \lg B, & \text{при } B < 2560 \text{ Мбит/с} \\ -55 + 10 \lg B, & \text{при } B \geq 2560 \text{ Мбит/с} \end{cases}; \quad (3.10)$$

$$P_{\min} = \begin{cases} -55 + 11 \lg(2560) \\ -55 + 10 \lg(2560) \end{cases} \Rightarrow P_{\min} = \begin{cases} -17.51 \text{ дБ} \\ -20.92 \text{ дБ} \end{cases}$$

для лазерного диода

$$P_{\min} = \begin{cases} -70 + 10,5 \lg B, & \text{при } B < 2560 \text{ Мбит/с} \\ -70 + 10 \lg B, & \text{при } B \geq 2560 \text{ Мбит/с} \end{cases}; \quad (3.11)$$

$$P_{\min} = \begin{cases} -70 + 10,5 \lg(2560) \\ -70 + 10 \lg(2560) \end{cases} \Rightarrow P_{\min} = \begin{cases} -32.51 \text{ дБ} \\ -35.92 \text{ дБ} \end{cases}$$

### 3.1.8 Определение быстродействия системы

Допустимое быстродействие, с, зависит от характера передаваемого сигнала, скорости передачи информации и определяется по формуле

$$t_{\Sigma} = \frac{\beta}{B}, \quad (3.12)$$

где  $\beta$  – коэффициент, учитывающий характер линейного сигнала (линейного кода), для кода NRZ  $\beta = 0,7$ ; для остальных  $\beta = 0,35$ .

$$t_{\Sigma} = \frac{0,7}{2,5 \cdot 10^6} = 27,34 \text{ нс}$$

Общее ожидаемое быстродействие ВОСП, с, рассчитывается по формуле

$$t_{\text{ож}} = 1,111 \sqrt{t_{\text{пер}}^2 + t_{\text{пр}}^2 + t_{\text{ОВ}}^2}, \quad (3.13)$$

где  $t_{\text{пер}} = (0,5 \dots 10) \text{ нс}$  – быстродействие ПОМ;

$t_{\text{пр}} = (0,2 \dots 20) \text{ нс}$  – быстродействие ПРОМ;

$t_{\text{ОВ}}$  – уширение импульса на длине участка:

$$t_{\text{ОВ}} = \tau l_{\text{пу}}, \quad (3.14)$$

где  $\tau$  – дисперсия оптического волокна, с/км.

$$t_{\text{ОВ}} = 2,09 \cdot 0,5 \cdot 10^{-12} = 0,001 \text{ нс, при длине волны в } 1310 \text{ нм.}$$

$$t_{\text{ОВ}} = 2,09 \cdot 0,5 \cdot 10^{-12} = 0,001 \text{ нс, при длине волны в } 1550 \text{ нм.}$$

$$t_{\text{ОЖ}} = 1,111\sqrt{10^2 + 20^2 + 0.001^2} = 24,84 \text{ нс, при длине волны в } 1310 \text{ нм.}$$

$$t_{\text{ОЖ}} = 1,111\sqrt{10^2 + 20^2 + 0.001^2} = 24,84 \text{ нс, при длине волны в } 1550 \text{ нм.}$$

Если  $t_{\text{ОЖ}} < t_{\Sigma}$ , то выбор оптического кабеля сделан верно.

$$t_{\text{ОЖ}} < t_{\Sigma} \Rightarrow 24,84 \text{ нс} < 27,34 \text{ нс, при длине волны в } 1310 \text{ нм, неравенство верно}$$

$$t_{\text{ОЖ}} < t_{\Sigma} \Rightarrow 24,84 \text{ нс} < 27,34 \text{ нс, при длине волны в } 1550 \text{ нм, неравенство верно}$$

### 3.1.9 Расчет надежности

Надежность является одной из важнейших характеристик современных магистралей и сетей связи. Основными показателями надежности являются:

- интенсивность отказов  $X$ , часов;
- вероятность безотказной работы для заданного интервала времени  $P(t_0)$ ;
- средняя наработка на отказ  $T_0$ , час;
- среднее время восстановления  $T_{\text{в}}$ , час;
- коэффициент готовности  $K_{\text{г}}$ ;
- интенсивность восстановления  $M$ , 1/час;

Расчет показателей надежности магистрали проводится при следующих допусках: отказы элементов магистрали являются внезапными, независимыми друг от друга, их интенсивность постоянна в течение всего периода эксплуатации.

Интенсивность отказов определяется по формуле

$$X_{\Sigma} = nX_1 + LX_2 \quad (3.15)$$

$$X_{\Sigma} = 10^{-7} + 2,09 \cdot 5 \cdot 10^{-8} \equiv 1,01 \cdot 10^{-7}$$

где  $n$  – число конечных пунктов;

$L$  – длина линии, км;

$X_1$  – интенсивность отказов конечного пункта, 1/час;

$X_2$  – интенсивность отказов одного километра линейно-кабельных сооружений, 1/км.

Т а б л и ц а 3.2 – Показатели надежности

Показатели надёжности	ОРП	Кабель на 1 км
Интенсивность отказов $\lambda$ , 1/ч	10 Е–7	5 · 10 Е–8
Время восстановления повреждения $t_v$ , ч	0,5	5,0

Средняя наработка на отказ определяется выражением

$$T_0 = \frac{1}{X_\Sigma}. \quad (3.16)$$

$$T_0 = \frac{1}{1,01 \cdot 10^{-7}} = 9,9 \cdot 10^6, 1/\text{час}$$

Среднее время восстановления приводится в справочных данных на аппаратуру.

Коэффициент готовности системы определяется по формуле

$$K_\Gamma = \frac{T_0}{T_0 + T_B}. \quad (3.17)$$

$$K_\Gamma = \frac{9,9 \cdot 10^6}{9,9 \cdot 10^6 + 0,5} = 1$$

Коэффициент простоя системы будет составлять

$$K_\Pi = 1 - K_\Gamma. \quad (3.18)$$

$$K_\Pi = 1 - 1 = 0$$

Интенсивность восстановления определяется выражением

$$M = \frac{1}{T_B}. \quad (3.19)$$

$$M = \frac{1}{0,5} = 2 \text{ часа.}$$

Вероятность безотказной работы определяется за различные интервалы времени по формуле

$$P(t_0) = e^{(-X_\Sigma \cdot t_0)}. \quad (3.20)$$

$$P(t_0) = e^{(-1,0110^{-7} \cdot 0)} = 1$$

$$P(t_1) = e^{(-1,0110^{-7} \cdot 1)} = 1$$

$$P(t_{720}) = e^{(-1,0110^{-7} \cdot 720)} = 1$$

$$P(t_{8640}) = e^{(-1,0110^{-7} \cdot 8640)} = 0,99$$

$$P(t_{86400}) = e^{(-1,0110^{-7} \cdot 86400)} = 0,99$$

Результаты расчетов вероятности безотказной работы заносят в таблицу (3.3).

Т а б л и ц а 3.3 – Вероятность безотказной работы

Вероятность безотказной работы	Интервал времени t, ч				
	0	1	720	8640	86400
P(t)	1	1	1	0,99	0,99

### 3.1.10 Расчет параметров волоконных световодов

Кабель данного типа был изготовлен из следующих материалов: 3,1% GeO<sub>2</sub> 96,9% SiO<sub>2</sub> – для сердцевины и 3,0% Be<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 97,0% SiO<sub>2</sub> – для оболочки. Показатели преломления этих материалов характеризуются формулой Селмейра.

$$n^2(\lambda) = 1 + \sum_{i=1}^3 A_i \cdot \frac{\lambda^2}{\lambda^2 - l_i^2} \quad (3.21)$$

Коэффициенты  $A_i$  и  $l_i$  берутся из нижеследующей таблицы (3.4):

Т а б л и ц а 3.4 – Свойства химических элементов кабеля

Состав стекла	Тип коэффициента	Значение коэффициента при i, равном:		
		1	2	3
3,1% GeO <sub>2</sub> 96,9% SiO <sub>2</sub>	$A_i$	0,7028554	0,4146307	0,8974540
	$l_i$	0,0727723	0,1143085	9,896161
SiO <sub>2</sub>	$A_i$	0,6961663	0,4079426	0,8974794
	$l_i$	0,0684043	0,1162414	9,896161

$$n_1 = \sqrt{1 + 0,7028554 \cdot \frac{1,31^2}{1,31^2 - 0,0727723^2} + 0,4146307 \cdot \frac{1,31^2}{1,31^2 - 0,1143085^2} + 0,8974540 \cdot \frac{1,31^2}{1,31^2 - 9,896161^2}} = 1,51$$

$$n_2 = \sqrt{1 + 0,6961663 \cdot \frac{1,31^2}{1,31^2 - 0,0684043^2} + 0,4079426 \cdot \frac{1,31^2}{1,31^2 - 0,1162414^2} + 0,8974794 \cdot \frac{1,31^2}{1,55^2 - 9,896161^2}} = 1,49$$

Соотношение коэффициентов преломления:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}, \quad (3.22)$$

Где показатель преломления сердцевинки  $n_1=1,51$ ;  
показатель преломления оболочки  $n_2=1,49$ ;

$$\Delta = \frac{1,51 - 1,49}{1,51} = 0,013,$$

Оптические свойства материалов сердечника и оболочки должны обеспечивать одномодовый режим работы волоконного световода. Для этого необходимо рассчитать значение нормированной (характеристической) частоты:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \cdot NA \quad (3.23)$$

$$V = \frac{50 \cdot 10^{-6} \cdot 3,14}{1,3 \cdot 10^{-6}} \cdot 0,245 = 29,598$$

Полученное значение соответствует рекомендациям ITU-T: G.652, G.653, G.654, то есть удовлетворяет требованиям на оптические волокна.

Световоды характеризуются частотой отсечки и через них передаются только длины волны меньше диаметра сердцевинки световода ( $\lambda < d$ ). Частота отсечки рассчитывается формулой:

$$f_0 = \frac{2,405 \cdot c}{2\pi a \cdot NA}, \quad (3.24)$$

$$f_0 = \frac{2,405 \cdot 3 \cdot 10^8}{50 \cdot 10^{-6} \cdot 3,14 \cdot 0,245} = 18,757 \cdot 10^{12} (\text{Гц})$$

Критическая длина волны (длина волны отсечки) устанавливает верхний предел длин волн, при котором происходит распространение энергии по волноводу (световоду).

Критическая длина волны, м:

$$\lambda_0 = \frac{2\pi \cdot NA}{2,405 \cdot n_1} \quad (3.25)$$

$$\lambda_0 = \frac{50 \cdot 10^8 \cdot 3,14 \cdot 0,245}{2,405 \cdot 1,51} = 10,592 \cdot 10^8 \text{ (м)}$$

Числовая апертура — максимальный угол между осью и лучом, для которого выполняются условия полного внутреннего отражения при распространении оптического излучения по волокну. Она характеризует эффективность ввода световых лучей в оптическое волокно и зависит от конструкции волокна. Числовая апертура для волокон, применяемых в системах связи, лежит в пределах 0,1...0,2, что соответствует углам  $\alpha \sim 5,7...11,5^\circ$ .

Апертурный угол (NA) - угол между оптической осью и образующей конуса, попадающего в торец световода, при котором выполняется синус наибольшего угла  $\alpha$ , входя под которым, моды (лучи) ещё удерживаются в сердцевине:

Числовая апертура:

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (3.27)$$

$$NA = \sqrt{1,51^2 - 1,49^2} = 0,245$$

В соответствии с основными положениями электродинамики в однородных средах плоская электромагнитная волна распространяется с фазовой скоростью  $V_\phi$  и групповой скоростью  $V_{гр}$ .

Для недисперсионной среды фазовая скорость не зависит от частоты, и тогда групповая скорость равна фазовой скорости. Однако, в дисперсионных средах, где фазовая скорость электромагнитной волны является функцией частоты,  $V_\phi$  и  $V_{гр}$  имеют разные значения.

Границы изменения фазовой скорости, км/с, определяются:

$$c/n_1 < v_\phi < c/n_2; \quad (3.28)$$

$$1,987 \cdot 10^8 \text{ м/с} < v_\phi < 2,013 \cdot 10^8 \text{ м/с}.$$



При больших значениях длин волн, близких к критической, энергия распространяется в оболочке с фазовой скоростью  $V_{\phi 2}$ , при уменьшении длины волны вся энергия концентрируется в сердечнике, которой соответствует скорость распространения  $V_{\phi 1}$ . Таким образом, с увеличением длины волны фазовая скорость уменьшается от значения скорости в оболочке до значения скорости в сердечнике световода.

Следует иметь ввиду, что скорость распространения волны по световоду всегда меньше скорости света, т.е. поверхностная волна всегда имеет замедленный характер распространения.

Групповая скорость распространения по световоду определяется выражением:

$$V_g = \frac{\partial \omega}{\partial \beta} = \frac{c}{\left( n - \lambda \frac{\partial n}{\partial \lambda} \right)} \quad (3.28)$$

$$V_g = \frac{3 \cdot 10^8}{(1,4487 + 1,55 \cdot 0,0120123)} = 2,044 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Полоса пропускания это величина, которая характеризует ёмкость волокна для передачи некоторого объёма информации в момент времени. Чем больше полоса пропускания, тем больше информационная способность волокна.

Волновое сопротивление волоконного световода может быть представлено через компоненты электромагнитного поля, определение которых получается довольно сложным. В практических расчетах пользуются предельными значениями волнового сопротивления сердечника и оболочки для плоской волны.

Границы изменения волнового сопротивления, Ом:

$$Z_0/n_1 < Z < Z_0/n_2, \quad (3.30)$$

где  $Z_0 = 376,7$  Ом – волновое сопротивление идеальной среды.

$$249,470 \text{ Ом} < Z < 252,819 \text{ Ом}.$$

Определение ширины спектральной линии:

Если считать что  $\lambda$  находится точно на середине диапазона  $\Delta\lambda_{0,5}$ , то максимальная и минимальная длины волн находят следующим образом

$$\lambda_{\max} = \lambda + \frac{1}{2} \cdot \Delta\lambda_{0,5} \quad (3.31)$$

$$\begin{aligned}\lambda_{\max} &= 1,3 \cdot 10^{-6} + \frac{5,31 \cdot 10^{-9}}{2} = 1,3 \cdot 10^{-6} + 2,655 \cdot 10^{-9} = \\ &= 13 \cdot 10^{-7} + 0,027 \cdot 10^{-7} = 13,027 \cdot 10^{-7} (\text{м}) \\ \lambda_{\min} &= \lambda - \frac{1}{2} \cdot \Delta\lambda_{0,5}\end{aligned}\quad (3.32)$$

$$\begin{aligned}\lambda_{\min} &= 1,3 \cdot 10^{-6} - \frac{5,31 \cdot 10^{-9}}{2} = 1,3 \cdot 10^{-6} - 2,655 \cdot 10^{-9} = \\ &= 13 \cdot 10^{-7} - 0,027 \cdot 10^{-7} = 12,973 \cdot 10^{-7} (\text{м})\end{aligned}$$

Тогда соответствующие этим длинам волн минимальную и максимальную частоту излучения определяем:

$$f_{\min} = \frac{c}{\lambda_{\max}} = \frac{3 \cdot 10^8}{13,027 \cdot 10^{-7}} = 2,303 \cdot 10^{14} (\text{Гц}) \quad (3.33)$$

$$f_{\max} = \frac{c}{\lambda_{\min}} = \frac{3 \cdot 10^8}{12,973 \cdot 10^{-7}} = 2,312 \cdot 10^{14} (\text{Гц}) \quad (3.34)$$

Ширина спектральной линии:

$$\Delta f_{0,5} = f_{\max} - f_{\min} = (2,312 - 2,303) \cdot 10^{14} = 0,9 \cdot 10^{12} (\text{Гц}) \quad (3.35)$$

Средняя частота излучения:

$$f_0 = \frac{c}{\Delta\lambda_{0,5}} = \frac{3 \cdot 10^8}{5,31 \cdot 10^{-9}} = 5,649 \cdot 10^{16} = 564,9 \cdot 10^{14} (\text{Гц}) \quad (3.36)$$

Добротность резонатора лазера определяет полосу резонанса и показывает, во сколько раз запасы энергии в системе больше, чем потери энергии за один период излучения.

Режимы работы лазера определяются характером действия источника накачки лазера и законом изменения добротности оптического резонатора лазера. Если резонатор имеет постоянный, уровень потерь (и, соответственно, постоянную добротность), то лазер работает в режиме свободной генерации. При этом временной характер выходного излучения лазера определяется временным характером накачки: при непрерывной накачке излучение непрерывно, при импульсной оно носит импульсный характер.

Добротность резонатора лазера:

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f_{0,5}} = \frac{564,9 \cdot 10^{14}}{0,9 \cdot 10^{12}} = 62766 \quad (3.37)$$

Длина регенерационного участка, ограниченная дисперсией, определяется по формуле:

$$L_{p.\partial} = \frac{1}{2 \cdot B \cdot \tau_{xp} \cdot \Delta \lambda}, \quad (3.38)$$

где  $B$  - скорость передачи  $B$ , Мбит/с;

$\tau_{xp}$  - хроматическая дисперсия,  $\frac{нс}{км \cdot нм}$ ;

$\Delta \lambda$  - ширина спектра излучения, нм;

Максимальная скорость передачи цифровой ВОСП, работающей по данному волокну в идеале численно равна тактовой частоте и полосе пропускания, но с учетом помехоустойчивого кодирования она будет меньше, в зависимости от используемого кода. Таким образом, максимальная скорость передачи ВОСП, работающей по данному волокну составит:

$$B_{\max} = \frac{8,8 \cdot 10^{11}}{1,2} = 733,3 \quad (\text{Гбит} / \text{с})$$

$$B_{\max} = f_{T \max} = \frac{f_{\lambda}}{1,2} = \frac{W}{1,2} \quad (3.39)$$

$$\begin{aligned} L_{p.\partial} &= \frac{1}{2 \cdot B \cdot \tau_{xp} \cdot \Delta \lambda} = \\ &= \frac{1}{2 \cdot 733,3 \cdot 0,21 \cdot 10^{-9} \cdot 1} = 13,64 \cdot 10^5 (\text{м}) = 1364 (\text{км}) \end{aligned} \quad (3.40)$$

Полоса пропускания оптического волокна зависит от дисперсии, чем меньше значение дисперсии, тем больший поток информации можно передать по волокну.

При определении длины регенерационного участка, лимитированного затуханием, воспользуемся формулой:

$$L_{p.\partial} = \frac{A - M - \alpha_{pc} N_{pc} - \alpha_{nc}}{\alpha_k + \frac{\alpha_{nc}}{l_{ct}}}, \quad (3.41)$$

где  $A$  – энергетический потенциал системы;

$M$  – энергетический запас системы;

$\alpha_{pc}$  – вносимые потери разъемных оптических соединений;

$\alpha_{nc}$  – вносимые потери неразъемных оптических соединений;

$N_{pc}$  – число разъемных оптических соединений;

$l_{ct}$  – строительная длина .

$$\begin{aligned} L_{p.\partial} &= \frac{A - M - \alpha_{pc} N_{pc} - \alpha_{nc}}{\alpha_k + \frac{\alpha_{nc}}{l_{ct}}} = \\ &= \frac{38 - 5 - 0,3 \cdot 2 - 0,1}{0,24 - \frac{0,1}{2,09}} = \frac{32,3}{0,19} = 170(\text{км}) \end{aligned} \quad (3.42)$$

Длина участка в данной работе берется от южного «РУСПД» до станции Алматы-2.

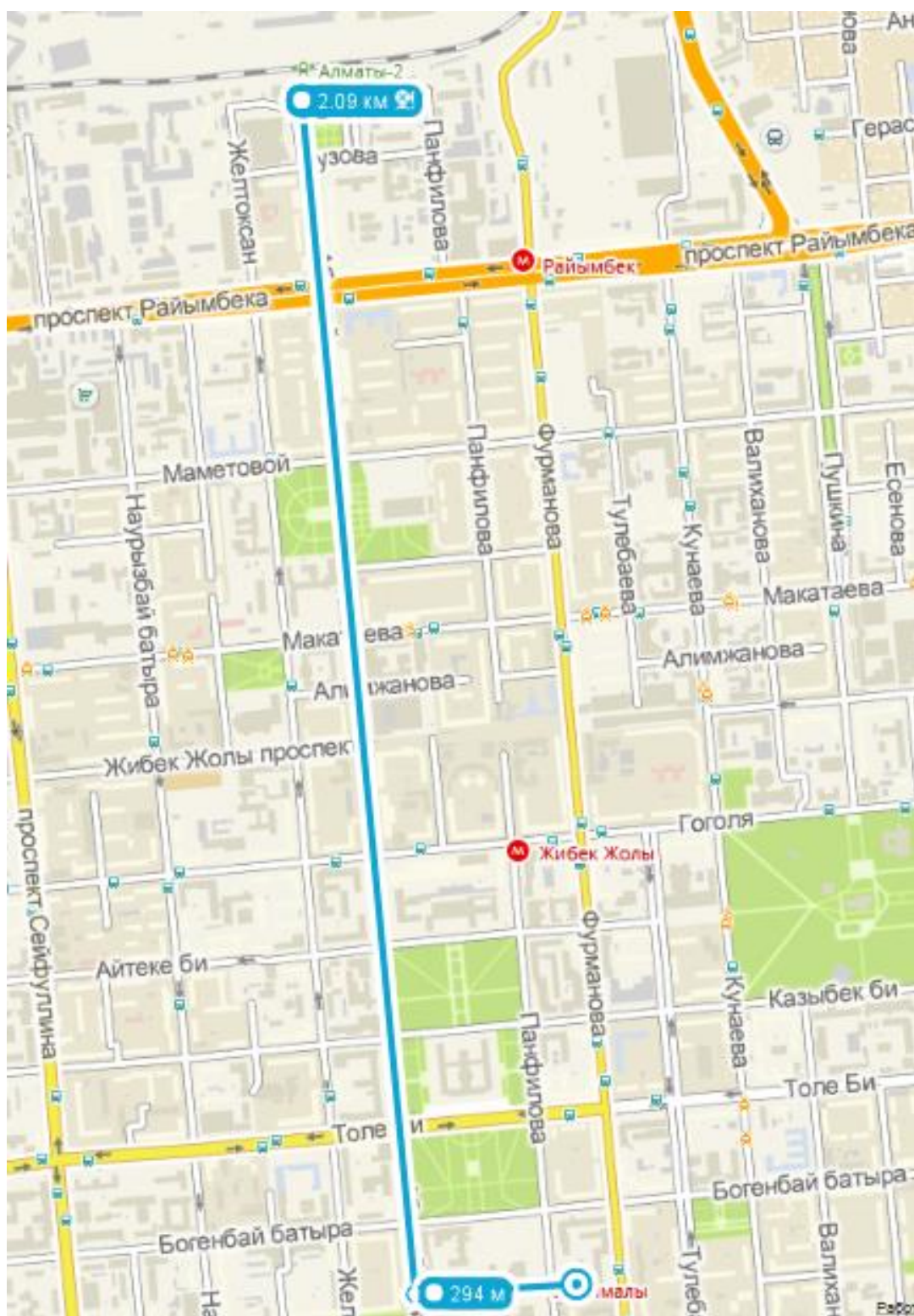


Рисунок 3.1 – Схема прокладки оптического кабеля  
 $L_y = 2,09 \text{ км}$

По мере распространения оптического сигнала по световоду снижается уровень мощности сигнала и увеличивается дисперсия. При заданных параметрах регенераторов и оконечных устройств максимальная длина регенерационного участка определяется затуханием и дисперсией. Затухание

ограничивает расстояние по потерям в линейном тракте, а дисперсия, приводящая к уширению импульсов, приводит к возникновению кодовых ошибок на приеме и снижению качества передаваемой информации.

Мы получили длину регенерации по дисперсии 1364 км, а по затуханию 170 км. Таким образом, мы берем меньшую длину регенерации (170км), чтобы она удовлетворяла нашим требованиям.

Длина нашей линии передачи 2,09 км, а регенерационный участок 170 км, следовательно, так как регенерационный участок превышает длину линии передачи, в нашем случае не надо ставить регенератор.

## **4 Безопасность жизнедеятельности**

### **4.1 Анализ условий труда**

В данном дипломном проекте модернизация сети передачи данных реализована на основе добавления еще одного магистрального маршрута большой пропускной способности и повышения отказоустойчивости системы.

В режиме эксплуатации данная сеть требует постоянного присутствия обслуживающего персонала в технологическом помещении. За работой сети наблюдает штат сотрудников с помощью систем мониторинга и управления. Всего обслуживанием сети занимаются пятеро сотрудников: один инженер и четверо электромехаников, производящих контроль над сетью и оборудованием. Их рабочие места имеют ПК, с которых они управляют работой системы и наблюдают за ее состоянием. Контроль должен вестись круглосуточно, для чего работа электромехаников была организована посменно. Поскольку персонал будет работать не только в дневное время, когда возможно использование естественного освещения, но и ночью, когда использование естественного освещения невозможно, то наиболее важно обеспечить работников необходимым уровнем искусственного освещения.

Во время работы возникают ситуации, в которых сотрудники за короткий срок должны принимать правильное решение по решению создавшейся проблемы. Для успешного труда в таких условиях следует рационально организовать окружающую среду, ограждающую работника от воздействия посторонних раздражителей.

Для снижения утомления и напряжения сотрудника, нужно создать обстановку производственного комфорта.

Для обеспечения нормальных условий труда для рабочего персонала в помещении должны соблюдаться нормы производственного микроклимата. Микроклимат помещения не должен превышать оптимальных норм. Работу сотрудника в центре управления можно отнести к Ib категории, то есть – легкие физические работы, которые не требуют физического напряжения.

Телекоммуникационное оборудование размещено в серверном шкафу. Шкаф (рисунок 4.1) сделан из железных листов, его размер 600х600х2055 мм. В шкафу смонтированы стойки для крепления маршрутизаторов, коммутаторов, отведены места для крепления розеток, сделаны отверстия для проведения кабелей и кабелей питания.



Рисунок 4.1 – серверный шкаф

## 4.2 Выбор оборудования

В моем дипломном проекте рассматривается оборудование для маршрутизации и коммутации, а именно маршрутизаторы Cisco 3800 и коммутаторы Cisco 2960.



Рисунок 4.2.1 – Cisco 3800

Спецификация:

-Маршрутизация пакетов: до 500.000 пакетов/сек, до 256 Мбит/сек



- Производительность в приложениях VPN со встроенным ускорителем шифрования: до 700 VPN-туннелей, 3DES, AES - 180 Mbps
- Производительность в приложениях VPN при установленном модуле AIM-VPN/SSL-2: до 2500 VPN туннелей, 3DES, AES - до 210 Mbps
- Производительность межсетевого экрана: до 1.1 Gbps
- Порты Gigabit Ethernet (10/100/1000):2
- Число SFP-слотов: 1
- Число AIM-слотов: 2
- Число PVDM-слотов (расширение): 4
- Порты: USB 1.1 ports (для USB Flash memory, security tokens и off-platform storage of VPN credentials): 2
- Управляющий порт (console ports): 1
- Размеры (мм.): 135 x 443 x 411
- Вес 20,2 кг
- Входное напряжение: 48 В DC и 2 порта электропитания
- Диапазон рабочего напряжения: от 38,4 В до 72 В



Рисунок 4.2.2 – Cisco 2960

Спецификация:

- Количество портов коммутатора: 24 x Ethernet 10/100 Мбит/сек
- Количество uplink/стек/SFP-портов и модулей: 2
- Максимальная скорость uplink/SFP-портов: 10/100/1000 Мбит/сек
- Внутренняя пропускная способность: 16 Гбит/сек
- Размер таблицы MAC адресов: 8192
- Web-интерфейс: есть
- Поддержка Telnet: есть
- Поддержка SNMP: есть
- Поддержка стандартов: Auto MDI/MDIX, IEEE 802.1p (Priority tags), IEEE 802.1q (VLAN), IEEE 802.1d (Spanning Tree), IEEE 802.1s (Multiple Spanning Tree)
- Размеры (ШхВхГ): 445 x 44 x 236 мм
- Вес 3,6 кг
- Входное напряжение: 48 В DC и 2 порта электропитания
- Диапазон рабочего напряжения: от 38,4 В до 72 В

Т.к.  $U=48В$ , сопротивление человека возьмем среднее 1000Ом, следовательно

$$I = \frac{U}{R}, \quad (4.1)$$

$$I = \frac{48}{1000} = 48 \text{ мА}$$

Смертельно опасным считается ток более 100 мА, который вызывает паралич органов дыхания и фибрилляцию сердца и называется пороговым фибрилляционным.

### 4.3 Краткая характеристика помещения

Рассматривается арендуемое помещение. Параметры условий труда:

- тип помещения – офис;
- размеры рабочего помещения: длина 4 м, ширина 3 м, высота 3 м;
- остекление помещения – двойное (одно окно размером 2000х2000 мм);
- искусственное освещение – светильники: 2 светильника, в каждом по 2 люминесцентные лампы (ПВЛМ–1х40);
- внутренняя отделка стен – светлая;
- помещение по зрительным условиям работы относится к V разряду, т. к. наименьший объект различения от 1 до 5 мм;
- вид работы – мониторинг сети передачи данных;
- количество рабочих мест – 2;
- категория работ – легкая, 1Б;

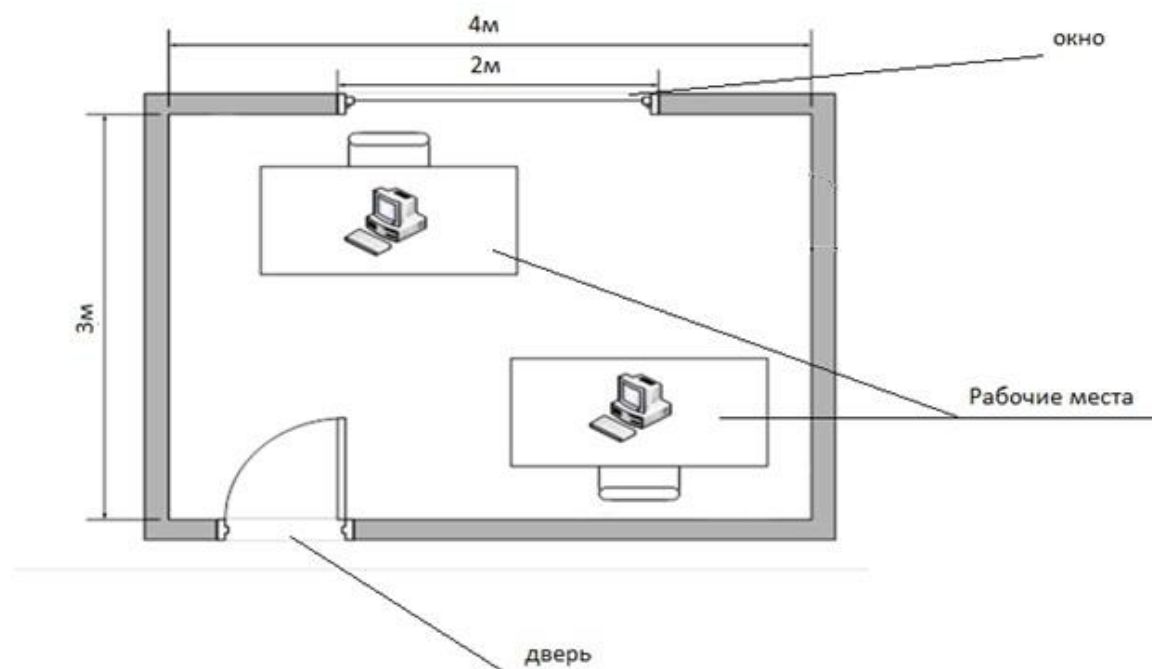


Рисунок 4.3 – План помещения

#### 4.3.1 Анализ естественного освещения

С целью обеспечения микроклимата помещения в зависимости от его назначения установлены нормированные значения показателей световой среды:

Нормированное значение коэффициента естественной освещенности (КЕО) равно  $e_n = 1,2$  для работ средней точности V под разряда;

Для того чтобы условия труда соответствовали норме, необходимо проверить соответствует ли коэффициент естественной освещенности норме, если нет, то необходимо рассчитать реконструировать оконный проем.

Помещение имеет размеры: длина  $a = 4$  м, ширина  $b = 4$  м, высота  $h = 3$  м. Высота рабочей поверхности над уровнем пола –  $0,7$  м, окно начинается с высоты  $0,8$  м, высота окна  $2$  м. Со всех сторон затеняющих зданий нет.

Коэффициента естественной освещенности определим по формуле

$$e_n = \frac{S_o \cdot \tau_o \cdot r_1 \cdot 100}{S_n \cdot \eta_o \cdot k_{зо} \cdot k_3}, \quad (4.2)$$

где  $S_n$  – площадь помещения,  $m^2$ ;

$S_o$  – площадь окна,  $m^2$ ;

$k_3$  – коэффициент запаса;

$K_{зд}$  – коэффициент, учитывающий затенение окон противостоящими зданиями;

$\tau_o$  – общий коэффициент светопропускания равный;

$\eta_o$  – световая характеристика окон.

$$S_n = a \times b = 4 \times 3 = 12 \text{ м}^2;$$

$$S_o = 2 \times 2 = 4 \text{ м}^2.$$

$k_3 = 1,2$  (учебные помещения, лаборатории, конструкторские бюро). Поскольку затеняющих зданий поблизости нет, то  $k_{зд} = 1$ .

Общий коэффициент светопропускания равный

$$\tau_o = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4, \quad (4.3)$$

В качестве светопропускающего материала используем:

– стекло оконное листовое, двойное,  $\tau_1 = 0,8$ ;

– вид переплёта – двойной раздельный,  $\tau_2 = 0,6$ ;

– вид несущей конструкции – железобетонные формы,  $\tau_3 = 0,8$ ;

– солнцезащитные устройства – убирающиеся регулируемые жалюзи,  $\tau_4 = 1$ .

– общий коэффициент светопропускания:

$$\tau_o = 0,8 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,384;$$

Отношение длины комнаты к глубине наиболее удалённой точки от окна равно  $\frac{4}{2,5} = 1,6$ . Отношение ширины помещения к высоте от уровня рабочей поверхности до верха окна равно  $\frac{3}{2,1} = 1,43$ . Отсюда  $\eta_0 = 10,5$ .

$r_1$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при боковом освещении благодаря свету, отражённому от поверхностей помещения и подстилающего слоя, прилегающего к зданию.

Отношение  $\frac{a}{b} = \frac{4}{3} = 1,333$ , средний коэффициент отражения в помещении

$\rho_{CP} = 0,5$ , принимаем одностороннее боковое освещение, тогда  $r_1 = 1,3$ .

Вычислим коэффициента естественной освещенности:

$$e_n = \frac{4 \cdot 0,384 \cdot 1,3 \cdot 100}{12 \cdot 10,5 \cdot 1 \cdot 1,2} = 1,32 \%$$

Коэффициента естественной освещенности данного помещения составляет 1,32, что превышает установленной нормы. Это благоприятно сказывается на условиях труда. Отсюда следует, что реконструкция оконного проема не требуется.

#### 4.3.2 Анализ искусственного освещения

Разряд зрительной работы – V.

Нормируемая освещённость – 400 лк.

В помещении установлены 2 системы общего освещения с 2 люминесцентными лампами ЛБ в каждой с параметрами, указанными в таблице 4.1

Т а б л и ц а 4.1 – Технические характеристики газоразрядных ламп ЛБ

Номинальная мощность, Вт	Номинальный световой поток ламп типа ЛБ, лм	Размеры ламп, мм	
		Диаметр	Длина по штырькам
40	3120	40	1213,6

Требуется проверить, достаточна ли освещенность предоставленной системы освещенности для выполняемых работ. Для этого рассчитаем искусственную освещенность помещения.

Освещенность рассчитывается по формуле

$$E = \frac{N \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}} \cdot \eta}{k_3 \cdot S_{\text{OC}} \cdot Z}, \quad (4.4)$$

где  $S_{\text{OC}}$  – площадь помещения

$k_3$  – коэффициент запаса,  $k_3 = 1,2$ ;

$N$  – количество светильников;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения,  $Z = 1,1$ ;

$n$  – количество ламп;

$\Phi_{\text{л}}$  – световой поток выбранной лампы,  $\Phi_{\text{л}} = 3120$  лм;

$\eta$  – коэффициент использования,  $\eta = 40\%$ .

Вычислим освещенность:

$$E = \frac{2 \cdot 2 \cdot 3120 \cdot 0,4}{1,2 \cdot 12 \cdot 1,1} \approx 315 \text{лк}$$

Искусственная освещенность не соответствует норме. Рассчитаем количество светильников для комфортной работы в помещении.

#### **4.4 Расчёт искусственного освещения методом коэффициента использования**

Используем систему общего освещения с люминесцентными лампами ЛБ с параметрами, указанными в таблице 4.1.

Вычислим высоту подвеса светильника над рабочей поверхностью

$$H = h - h_p - h_c \quad (4.5)$$

где  $h_c$  – расстояние от светильника до перекрытия,  $h_c = 0,05$  м;

$h_p$  – высота рабочей поверхности над полом,  $h_p = 0,7$  м;

$h$  – высота помещения,  $h = 3$  м.

$$H = 3 - 0,7 - 0,05 = 2,25 \text{ м}.$$

Наиболее выгодное расстояние между светильниками определяется как

$$L = \lambda \cdot H, \quad (4.6)$$

где  $\lambda = 1,2 \div 1,4$ ;

$$L = 1,2 \cdot 2,25 = 2,7 \text{ м}.$$

Расстояние от стены до ближайшего светильника, когда работа у стены не проводится, определяем по формуле

$$l_1 = (0,4 \div 0,5) \cdot L , \quad (4.7)$$

$$l_1 = 0,4 \cdot 2,7 = 1,08 \text{ м} .$$

Определяем индекс помещения

$$i = \frac{a \cdot b}{H \cdot (a + b)} , \quad (4.8)$$

$$i = \frac{4 \cdot 3}{2.25 \cdot (4 + 3)} = 0,76 .$$

Коэффициенты отражения от потолка стен и пола равны:

$$\rho_{\text{ПОТ}} = 70\% ;$$

$$\rho_{\text{СТ}} = 50\% ;$$

$$\rho_{\text{ПОЛ}} = 30\% .$$

Коэффициент использования в данном случае равен  $\eta = 40\%$  ,  
коэффициент запаса равен  $k_3 = 1,2$ .

Определим количество люминесцентных ламп по формуле

$$N = \frac{E \cdot k_3 \cdot S_{\text{ОС}} \cdot Z}{n \cdot \Phi_{\text{Л}} \cdot \eta} , \quad (4.9)$$

где  $S_{\text{ОС}}$  – площадь помещения

$k_3$  – коэффициент запаса,  $k_3 = 1,2$ ;

$E$  – заданная минимальная освещённость,  $E = 400$  лк.;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения,  $Z = 1,1$ .

$n$  – количество ламп в светильнике;

$\Phi_{\text{Л}}$  – световой поток выбранной лампы,  $\Phi_{\text{Л}} = 3120$  лм;

$\eta$  – коэффициент использования,  $\eta = 40\%$ .

$$N = \frac{400 \cdot 1,2 \cdot 12 \cdot 1,1}{2 \cdot 3120 \cdot 0,4} = 2,54 \approx 3 .$$

Всего для создания нормируемой освещенности 400 лк необходимо 3 светильника серии ЛБ с 2 лампами в светильнике, итого 6 люминесцентных ламп, мощность каждой лампы должна быть не меньше 40 Вт. Так как в помещении установлено всего 2 светильника, а это нарушение санитарных норм, необходимо установить еще один светильник.

## 4.5 Расчет искусственного освещения точечным методом

Сделаем проверочный расчет точечным методом.

Точечный метод расчета используется при применении точечных излучателях (лампы накаливания и ДРЛ). Попробуем применить этот метод и для люминесцентной лампы выбранной нами в качестве источника света в помещении.

Световой поток лампы в каждом светильнике определяется по формуле:

Разряд зрительной работы – V.

Нормируемая освещенность – 400 лк.

Высота подвеса светильников над освещаемой поверхностью  $H = 2,25$  м, коэффициент запаса равен  $k_z = 1,2$ . Схема освещенности представлена на рисунке 4.4.

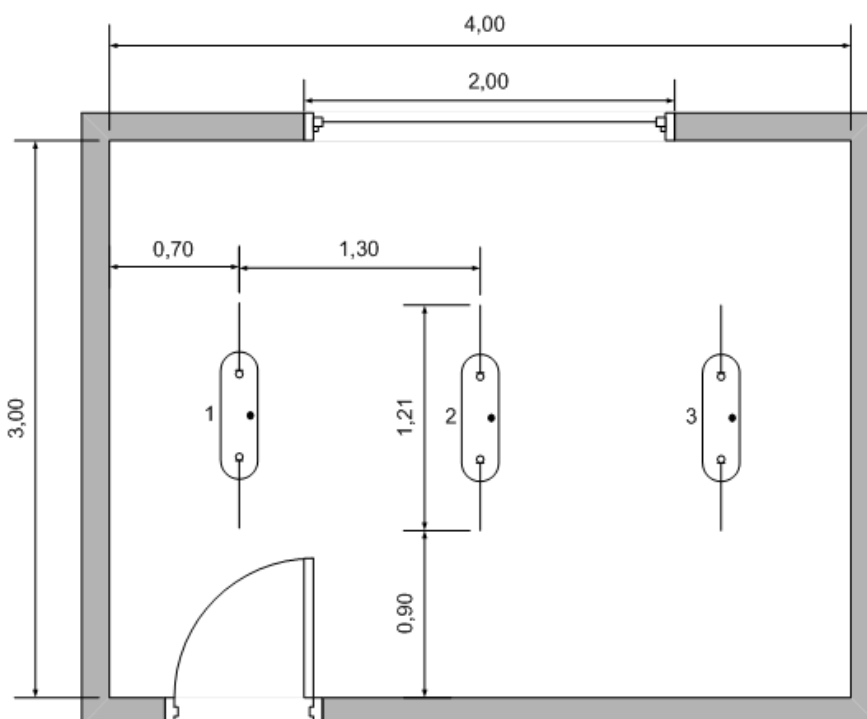


Рисунок 4.4 – Схема освещенности

Т а б л и ц а 4.2 – Светораспределение светильников

Тип св-ка	Сила света $I_\alpha$ , кд в направлении угла $\alpha$										
	0	5	15	25	35	45	55	65	75	85	90
ПВЛМ–1х40	139	135	132	115	104	84	63	44	22	6	0

Намечаем контрольную точку А. Для нее определяем суммарную условную освещенность всех светильников следующим образом: находим проекцию расстояния на потолок от точки А до светильника – d.

Далее определяем угол между потолком и прямой d. По этому углу находим условную освещенность.

Пусть контрольная точка будет находиться под лампой №2. Обозначим  $d_i$  – расстояние от контрольной точки до i-ой лампы.

$$\alpha = \arctg\left(\frac{d_i}{H}\right), \quad (4.10)$$

$$e_i = \frac{I_\alpha \cdot \cos^3(\alpha)}{H^2}, \quad (4.11)$$

1-я лампа  $d_2 = 0$  м ;

$$\alpha = 0^\circ; \quad e_i = \frac{139 \cdot 2 \cdot \cos^3(0)}{2,25^2} = 54,9 \text{ лк.}$$

1, 3-я лампы  $d_1 = d_3 = 1,3$  м;

$$\alpha = 30^\circ; \quad e_i = \frac{110 \cdot 2 \cdot \cos^3(30)}{2,25^2} = 28,22 \text{ лк.}$$

Суммарная условная освещенность равна:

$$\sum E = 54,9 + 2 \cdot 28,22 = 111,34 \text{ лк}$$

Суммарная освещенность равна

$$E_{AG} = \frac{\mu \cdot F_l}{1000 \cdot K_3} \cdot \sum E, \quad (4.12)$$

$$E_{AG} = \frac{1,1 \cdot 2 \cdot 3120}{1000 \cdot 1,2} \cdot 111,34 \approx 640 \text{ лк}$$

В результате проверки мы убедились, что искусственного освещения вполне достаточно.



#### **4.6 Вывод**

В этом разделе был произведен анализ условий труда в данном помещении, в частности расчет естественного и искусственного освещения.

Расчет показал что для естественного освещения достаточно одного окна площадью  $4 \text{ м}^2$ , коэффициент естественной освещенности превышает норму. Искусственного освещение рабочего места было недостаточным, что послужило поводом на реконструкцию освещения офиса, в итоге был добавлен еще один светильник. 3 светильника по 2 лампы со световым потоком излучения 3120 лм каждая, поэтому в этом помещении можно работать и в темное время суток.

## **5 Бизнес–план**

### **5.1 Резюме**

Цель плана:

Целью данной работы является модернизация сети передачи данных.

Потребность в финансах:

Затраты на капитальные вложения берутся из прибыли АО «Пассажирские перевозки» региональный филиал «Южный».

### **5.2 Цели и задачи**

Бизнес–план составлен для оценки экономической эффективности модернизации волоконно–оптической сети передачи данных. Основная цель проекта: построить новый оптический канал связи, улучшить работу системы.

На текущий день существует несколько причин, по которым нужно модернизировать сеть предприятия, а именно перейти на ВОЛС магистраль:

- Изношенность телефонных медных сетей;
- 30 % загрузка в кабеле распределения.
- зависимость от состояния телефонной линии, сопротивления кабеля, затухания сигнала, уровня шумов;
- необходимость модернизации линий;
- преобладание объема входящего трафика над исходящим;
- Низкая скорость;

### **5.3 Характеристика отрасли**

Данная компания занимается пассажирскими перевозками и продажей проездных документов на поезда дальнего следования. Для передачи и хранения информации о свободных и проданных местах была построена сеть передачи данных компании. В настоящее время существует один магистральный маршрут сети передачи данных от станции Алматы-2 до южного регионального центра, что является ненадежным, так как в случае выхода его из строя не будет происходить продажа билетов. Данный проект предусматривает проведение второго оптоволоконного маршрута для улучшения отказоустойчивости сети.

Пожалуй, самым большой сложностью в проведении оптоволокну можно считать его высокую себестоимость. Кроме того, любой оптический кабель боится морозов и подвержен ломке.

Однако преимущества оптики оставляют за ней звание лучшего проводника информации. Дело в том, что волоконно–оптические линии связи не подвержены электромагнитным излучениям, скорость передачи данных позволяет существенно расширить канал, обеспечение стабильности и

сохранности сигнала, и, как следствие, возможность прокладки цельного кабеля на сотни километров.

В настоящее время по всему миру поставщики услуг связи прокладывают за год десятки тысяч километров волоконно–оптических кабелей. Множество компаний, в том числе крупнейшие: IBM, Lucent Technologies, Nortel, Corning, Alcoa Fujikura, Siemens, Pirelli ведут интенсивные исследования в области волоконно–оптических технологий.

## **5.4 Продукт**

Для реализации данного проекта было выбрано оборудование маршрутизатор Cisco 3845.

Серия многосервисных маршрутизаторов Cisco 3800 построена на базе мощной серии многофункциональных маршрутизаторов серии Cisco 3700. Данная серия предназначена, прежде всего, для задач по обеспечению безопасности и голосовых сервисов, а также других типов приложений. Достаточное мощное решение на базе Cisco 3800 (от 350 до 500 Kpps) позволяет решать задачи на базе нескольких интерфейсов Fast Ethernet на одном слоте, решать задачи по объединению сетей, работающих по принципу time-division multiplexing (TDM), а также обеспечивать интеграцию технологии IEEE 802.3af Power over Ethernet (PoE) в существующих сетях.

## **5.5 Технология и квалификация**

Проект характеризуется высокой капиталоемкостью, небольшим сроком работы и длительным периодом эксплуатации. С технической точки зрения реализация проекта не представляет трудностей, так он разработан на основе типовых проектных решений в соответствии с нормами и правилами. Оборудование и оптический кабель необходимо закупать у фирмы «Волс Проект Строй». Необходимо провести обучение персонала, для квалификационного обслуживания системы связи.

## **5.6 План маркетинга**

Предоставление услуг по обеспечению связи не является новой и не подвержена быстрым изменениям. Потребность в телекоммуникационных услугах во всем мире быстро растет. В договоре с арендатором цены фиксированы и не подлежат воздействию спроса и предложения.

**Т а б л и ц а 5.1 – Требуемые инвестиции**

Наименование оборудования	Кол–во	Цена, тенге	Стоимость, тенге
Cisco 3845	2	404200	808400
Оптический шкаф, шт	1	150000	150000
Оптический сплиттер 1х4, шт	2	7500	13000
Муфта оптическая, шт	3	10000	30000
D-Link DMC-1530SC	2	15000	30000
Кабель оптический бронированный 48–волоконный, м	2091	450тг/м	940950
Кабель оптический бронированный 16–волоконный, м	20	230тг/м	4600
Итого:			1976950

## **5.7 План производства**

Для модернизации данной магистральной сети принято решение проложить между магистральными муфтами кабель ОКБ-48, от магистральных муфт проложить распределительный кабель ОКБ 16. На магистральном кабеле в канализации принято решение устанавливать оптические муфты с возможностью установки в них оптических сплиттеров.

Оборудование: маршрутизатор Cisco 3845, медиаконвертер D-Link DMC-1530SC.

Источники поставки оборудования: фирма «Волс Проект Строй».

## **5.8 Организационный план**

Капитальные вложения включают в себя стоимость оборудования, монтажных работ и транспортных услуг. Расходы необходимые для реализации данного проекта сведены в таблицу 5.1. Затраты на строительство зданий и сооружений не предусматриваются, так как предполагается использовать готовые сооружения существующих узлов телекоммуникации.

Транспортные расходы, составляют 5 % от стоимости всего оборудования и рассчитываются по формуле

$$K_{тр} = 0,05 \cdot K_o \quad (5.1)$$

$$K_{mp} = 0,05 \cdot K_o = 0,05 \cdot 1976950 = 98847,5 \text{ тенге}$$

Монтаж оборудования, пуско–наладка производится инженерами–монтажниками, расходы составляют 5 % от стоимости всего оборудования и рассчитываются по формуле

$$K_m = 0,05 \cdot K_o = 0,05 \cdot 1976950 = 98847,5 \text{ тенге}$$

Расходы по проектированию и разработке проекта составляют 2 % от стоимости всего оборудования и рассчитываются по формуле

$$K_{np} = 0,02 \cdot K_o = 0,02 \cdot 1976950 = 39539 \text{ тенге}$$

Общая сумма капитальных вложений по реализации проекта составляет

$$K_{\Sigma} = 98847,5 + 98847,5 + 39539 + 1976950 = 2214184 \text{ тенге}$$

## 5.9 Расчет годовых эксплуатационных расходов

В состав эксплуатационных расходов входят следующие статьи затрат:

Материальные расходы, в том числе:

- затраты на приобретение материалов;
- затраты на электроэнергию;
- амортизационные отчисления;

Эксплуатационные расходы на оплату труда работников, в том числе:

- фонд оплаты труда
- социальный налог

И накладные расходы.

$$\Theta_p = \Theta_m + \Theta_{\text{ФОТ}} + \Theta_{\text{НР}} \quad (5.2)$$

где  $\Theta_m$  – материальные затраты:

$$\Theta_m = \Theta_{\text{МАТ}} + \Theta_{\text{Э/Э}} + A \quad (5.3)$$

где  $\Theta_{\text{МАТ}}$  – затраты на приобретение материалов;

$\Theta_{\text{Э/Э}}$  – затраты на электроэнергию, включающие в себя затраты на производственные нужды и дополнительные затраты; дополнительные затраты принимаем равными 5 % от затрат на производственные нужды;

$A$  – амортизационные отчисления.

$$\mathcal{E}_{\text{ФОТ}} = \text{ФОТ} + C_{\text{Н}} \quad (5.4)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{ФОТ}}$  – эксплуатационные расходы на оплату работников, в которые входят:

ФОТ – фонд оплаты труда;

$C_{\text{Н}}$  – отчисления на социальный налог.

$$\mathcal{E}_{\text{НР}} = 0,7 \cdot \mathcal{E}_{\text{ФОТ}} \quad (5.5)$$

где  $\mathcal{E}_{\text{НР}}$  – накладные (хозяйственно–управленческие) расходы, в отрасли связи составляют 70 % от эксплуатационных расходов на оплату работников.

### 5.9.1 Расчет материальных затрат

Затраты на приобретение материалов составляют 0,5 % от капитальных вложений

$$\mathcal{E}_{\text{МАТ}} = 0,005 \cdot K \quad (5.6)$$

$$\mathcal{E}_{\text{МАТ}} = 0,005 \cdot 2214184 = 11070,92 \text{ тенге}$$

Затраты на электроэнергию для производственных нужд, включают в себя расходы электроэнергии на производственное оборудование и дополнительные нужды. Ввиду необходимости круглосуточной работы оборудования суммарная мощность будет вычисляться по следующей формуле

$$\mathcal{E}_{\mathcal{E}/\mathcal{E}} = \mathcal{Z}_{\text{ЭЛЭН.ОБОР.}} + \mathcal{Z}_{\text{ДОП.НУЖ}}, \quad (5.7)$$

где  $\mathcal{Z}_{\text{ЭЛЭН.ОБОР.}}$  – затраты на производственное оборудование;

$\mathcal{Z}_{\text{ДОП.НУЖ}}$  – затраты на дополнительные нужды (5 % от затрат на производственное оборудование).

Расходы электроэнергии на производственное оборудование рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{Z}_{\text{ЭЛЭН.ОБОР.}} = W \cdot T \cdot S, \quad (5.8)$$

где  $W$  – потребляемая мощность, 500 Вт;

$T$  – время работы,  $T=8760$  ч/год;

$S$  – тариф, 1 кВтч=15,84 тг.

$$З_{\text{ЭЛЭН.ОБОР.}} = 0,5 \cdot 8760 \cdot 15,84 = 69379,2 \text{ тенге}$$

Расходы на дополнительные нужды определяются по формуле

$$З_{\text{ДОП.НУЖ}} = 0,05 \cdot З_{\text{ЭЛЭН.ОБОР.}} \quad (5.9)$$

Определим расходы на дополнительные нужды

$$З_{\text{ДОП.НУЖ}} = 0,05 \cdot 69379,2 = 3468,96 \text{ тенге}$$

Определим расходы на электроэнергию по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{Э/Э}} = 69379,2 + 3468,96 = 72848,16 \text{ тенге}$$

Сумма амортизационных отчислений начисляется по единым нормам, которые устанавливаются в процентах от стоимости основных фондов. Норма амортизации на оборудование 25 %. Амортизационные отчисления рассчитываются по формуле

$$A = H_A \cdot \sum K, \quad (5.10)$$

где  $H_A$  – норма амортизационных отчислений 25 %;

$\sum K$  – балансовая стоимость основных производственных фондов.

$$A = 0,25 \cdot 2214184 = 553546 \text{ тенге}$$

Итоговые материальные эксплуатационные расходы равны

$$\mathcal{E}_M = 11070,92 + 72848,16 + 553546 = 637465,08 \text{ тенге}$$

### 5.9.2. Расчет фонда оплаты труда

ля вычисления заработной платы в таблице 5.2 приведем среднемесячные оклады обслуживающего персонала.

Т а б л и ц а 5.2 – Штат работников

Список персонала	Количество	Ежемесячная з.пл, тенге на 1 работника	З.пл в год, тенге на 1 человека	Всего фот, тенге в год
Инженер	1	90 000	1 080 000	1 080 000
Электромеханик	4	70 000	840 000	3 360 000
Итого, тг			4 440 000	

Фонд оплаты труда определяется по формуле

$$\text{ФОТ} = \text{З}_{\text{осн}} + \text{З}_{\text{доп}}, \quad (5.11)$$

где  $\text{З}_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$\text{З}_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата.

Согласно заработной плате сотрудников приведенной в таблице 4.3, основная заработная плата за год составит

$$\text{З}_{\text{осн}} = 4\,440\,000 \text{ тенге}$$

Дополнительная заработная плата (работа в праздничные дни, сверхурочные и премии) составляет 20 % от основной заработной платы и рассчитывается по формуле

$$\text{З}_{\text{доп}} = 4440000 \cdot 0,2 = 888000 \text{ тенге}$$

Тогда ФОТ составит

$$\text{ФОТ} = 4440000 + 888000 = 5328000 \text{ тенге}$$

При расчете фонда заработной платы, нужно учитывать, социальный налог в размере 11 % от общего фонда оплаты труда после отчисления в пенсионный фонд

$$\text{С}_{\text{н}} = 0,11 \cdot (\text{ФОТ} - 0,1 \text{ФОТ}) \quad (5.12)$$

Тогда с вычетом пенсионного фонда, который составляет 10 % от ФОТ, социальный налог составит:

$$\text{С}_{\text{н}} = 0,11 \cdot (5328000 - 532800) = 527472 \text{ тенге}$$

Итоговые отчисления в фонд оплаты труда равны

$$\text{Э}_{\text{ФОТ}} = 5328000 + 527472 = 5765472 \text{ тенге}$$

### 5.9.3 Расчет накладных расходов

Накладные расходы составляют 70 % от себестоимости

$$\text{Э}_{\text{НР}} = 0,7 \cdot 5765472 = 4035830,4 \text{ тенге}$$



Итоговая сумма эксплуатационных расходов равна

$$\mathcal{E}_p = 637465,08 + 5765472 + 4035830,4 = 10438767,48 \text{ тенге}$$

Результаты расчётов эксплуатационных расходов приведены в таблице 5.3

Т а б л и ц а 5.3 – Годовые эксплуатационные расходы

Показатель	Сумма, тенге
Материальные расходы, в том числе:	637465,08
– затраты на приобретение материалов;	11070,92
– затраты на электроэнергию	72848,16
– амортизационные отчисления	553546
Эксплуатационные расходы на оплату труда работников, в том числе:	5765472
– фонд оплаты труда	5328000
– социальный налог	527472
Накладные расходы, тг	4035830,4

### 5.10 Расчет доходов

Доходы от основной деятельности – это доходы, вырученные от продажи проездных документов.

$$Д_{\text{т}} = \sum (t_i \odot N_i), \text{ тенге} \quad (5.13)$$

где  $t_i$  – количество проданных проездных документов;

$N_i$  – число билетных касс.

В среднем каждая билетная касса продает по 100 проездных документов за день. Также около 1000 билетов продаются через терминалы самообслуживания. Для покрытия расходов от модернизации увеличим стоимость билетов на 2 тенге.

$$Дт = 365 \times 10 \times 100 \times 2 + 365 \times 1000 \times 2 = 1460000 \text{ тенге}$$

### 5.11 Расчет показателей экономической эффективности

Прибыль предприятия – это доходы предприятия от основной деятельности за вычетом эксплуатационных расходов.

Чистая прибыль остающийся в распоряжении предприятия – это прибыль после налогообложения.

Сумма, отчисляемая на корпоративный налог с прибыли составит

$$Н = ЧД \cdot 20 \%, \quad (5.15)$$

$$Н = 1460000 \cdot 0,2 = 292000 \text{ тенге}$$

В нашем случае ЧД=Дт так как мы повышали стоимость услуг для покрытия расходов на модернизацию.

Сумма чистой прибыли после налогообложения составит

$$ЧП = П - Н, \quad (5.16)$$

$$ЧП = 1460000 - 292000 = 1168000 \text{ тенге}$$

Для расчета срока окупаемости необходимо знать величину абсолютной экономической эффективности.

Абсолютная экономическая эффективность определяется как отношение чистой прибыли (ЧП) к стоимости капитальных вложений

$$Е = ЧП/К \quad (5.17)$$

$$Е = 1168000 / 2214184 = 0,52$$

Расчетный срок окупаемости определяется как величина, обратная экономической эффективности

$$Т = 1/Е \quad (5.18)$$

$$Т = 1/0,52 = 1,92$$

Таким образом, срок окупаемости проекта составляет 1,92 года.

## 5.12 Метод расчета абсолютной величины чистого дохода NPV

Так же определим капитальные вложения методом расчета абсолютной величины чистого дохода NPV.

Коэффициент PV – это коэффициент дисконтирования или норматив приведения, при установлении которого следует учитывать инфляционное изменение покупательной способности денег в течение рассматриваемого периода времени, необходимость обеспечения минимального гарантированного уровня доходности и риск инвестора.

Общая накопительная величина дисконтированных доходов рассчитывается по формуле

$$PV = \frac{ЧП}{(1+r)^n}, \quad (5.19)$$

где:  $r$  – ставка дисконты;

$n$  – год

$$1 \text{ год } PV = \frac{ЧП}{(1+0,15)^1} = \frac{1168000}{(1+0,15)^1} = 1015652,17 \text{ тг.};$$

$$2 \text{ год } PV = \frac{ЧП}{(1+0,15)^2} = \frac{1168000}{(1+0,15)^2} = 883175,8 \text{ тг.};$$

$$3 \text{ год } PV = \frac{ЧП}{(1+0,15)^3} = \frac{1168000}{(1+0,15)^3} = 767978,96 \text{ тг.};$$

Тогда чистая приведенная стоимость проекта будет рассчитываться по формуле

$$NPV = \sum_{t=1}^n PV - K_{\text{вл}}, \quad (5.20)$$

где NPV – чистая приведенная стоимость, тенге;

$PV_t$  – текущая стоимость доходов, тенге;

$E$  – ставка дисконтирования;

$KB$  – капитальный вложения, тенге.

$$\begin{aligned} NPV &= (1015652,17 + 883175,8 + 767978,96) - 2214184 = \\ &= 452622,93 \text{ тенге.} \end{aligned}$$

NPV больше нуля следовательно в течении своей экономической жизни проект возместит первоначальные затраты и обеспечит получение прибыли.

Определим индекс рентабельности проекта – отношение суммарного дисконтированного дохода к суммарным дисконтированным затратам, вычисляется по формуле

$$PI = \sum_{t=1}^n PV/K_{вл} \quad (5.21)$$

$$PI = 98632437,35 / 54527210,6 = 1,2$$

Индекс рентабельности больше 1, значит, проект стоит принять.

Определим дисконтированный период окупаемости DPP по формуле

$$DPP = t + \frac{K_{вл} - (\Pi_1 + \Pi_2 + \dots + \Pi_{n-1})}{\Pi_n}, \quad (5.22)$$

где  $t$  – год, за который капитальные вложения окупятся;

$K_{вл}$  – капитальные вложения;

$\Pi$  – прибыль по годам.

В нашем случае, вместо значений прибыли возьмем значение чистой прибыли с учетом дисконтирования. Учитывая, что по результатам вычисления без учета дисконтирования, проект окупится за 1,92 года, возьмем  $t=2$

$$DPP = 2 + \frac{2214184 - (1015652,17 + 883175,8)}{767978,16} = 2,41 \text{ года}$$

то есть, с учетом дисконтирования, срок окупаемости увеличится до 2,41 года.

### 5.13 Вывод по экономической части

Таким образом при модернизация сети передачи данных при капитальных затратах 2214184 тенге, чистый годовой доход составит 1168000 тенге. Данный проект окупается за 1,92 года. Показатели экономической эффективности проекта достигают следующих значений:  $NPV = 452622,93$  тенге,  $PI = 1,2$ ,  $DPP = 2,41$  года. Отсюда можно сделать вывод, что данная работа экономически эффективна.

## Заключение

В данной дипломном проекте были поставлены задачи, для решения которых были изучены следующие вопросы:

- Изучить существующее положение сети передачи данных, преимущества ВОЛС, недостатки
- Найти пути модернизации существующей сети;
- Провести анализ оборудования для данного проекта;
- Рассчитать необходимые параметры для данной сети;
- Сделать экономический анализ проекта.
- Исследовать вопросы по технике безопасности и охране труда.

Актуальность дипломного проекта обусловлена необходимостью улучшения качества связи в городе Семей, повышения надежности функционирования всей сети на основе замены устаревшего оборудования.

В первой главе данного проекта представлены основные сведения о сети передачи данных, преимуществах ВОЛС.

Во второй главе проведен обзор путей модернизации существующей сети, методом технического решения обоснован выбор технологии, использованной в рамках в данного проекта.

В третьей главе представлен инженерный расчет ВОЛС, выбор типа и конструкции оптического кабеля. Также рассчитаны проектная длины участка, суммарные потери в оптическом тракте, полный запас мощности системы, энергетический запас, быстродействие системы, надежность.

В разделе безопасность жизнедеятельности был произведен анализ условий труда в данном помещении, в частности расчет естественного и искусственного освещения.

Расчет показал что для естественного освещения достаточно одного окна площадью  $4 \text{ м}^2$ , коэффициент естественной освещенности превышает норму. Искусственного освещение рабочего места было недостаточным, что послужило поводом на реконструкцию освещения офиса, в итоге был добавлен еще один светильник. 3 светильника по 2 лампы со световым потоком излучения 3120 лм каждая, поэтому в этом помещении можно работать и в темное время суток.

В экономической части при модернизация волоконно–оптической сети передачи данных, при капитальных затратах 2214184 тенге, чистый годовой доход составит 1460000 тенге. Данный проект окупается за 1,92 года. Показатели экономической эффективности проекта достигают следующих значений:  $NPV = 452622,93$  тенге,  $PI = 1,2$ ,  $DPP = 2,41$  года. Отсюда можно сделать вывод, что данная работа экономически эффективна.

## Список литературы

- 1 Горелик М.А. Голубицкая Е.А. и др. Основы экономики телекоммуникаций (связи): Учебник для вузов/Под ред. Горелик М.А. –М.: Радио и связь, 1997.–223с.
- 2 Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. – М.,1997.–343с.
- 3 Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.–576с.
- 4 Agrawal G.P. Fiber-optic communication systems. – 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley&Sons, Inc., 1997.–450с.
- 5 Агравал Г.П. Нелинейная волоконная оптика. – М., Мир, 1996.–374с.
- 6 Листвин А.В., Листвин В.Н., Швырков Д.В. Оптические волокна для линий связи. – Вэлком, 2002.–698с.
- 7 Берлин Б.З., Брискер А.С., Васильева Л.С. и др. Городская телефонная связь. Справочник. М.: Радио и связь, 2007.–521с.
- 8 Боккер П. Цифровая сеть с интеграцией служб. Понятия, методы, системы: Пер. с нем. М.: Радио и связь, 2008.–499с.
- 9 Тихвинский В.О., Терентьев С.В., Юрчук А.Б.. Сети мобильной связи LTE – М.: Экотрендз – 2010. .–982с.
- 10 Фриман Р. Волоконно-оптические системы связи. М.: Техносфера, 2003.–624с.
- 11 <http://ru.wikipedia.org/wiki/OSPF>
- 12 <http://ru.wikipedia.org/wiki/VRRP>
- 13 [http://www.connect-portal.info/opto\\_tipi.html](http://www.connect-portal.info/opto_tipi.html)
- 14 [http://incab.ru/useful-information/choice\\_pod\\_ok/theory\\_cable/](http://incab.ru/useful-information/choice_pod_ok/theory_cable/)
- 15 [http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Сеть\\_передачи\\_данных](http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/Сеть_передачи_данных)

### **Список сокращений**

ВОЛС – волоконно–оптическая линия связи

ВОСП – волоконно–оптическая система передачи

ВОК – волоконно–оптический кабель

ОК – оптический кабель

ОВ – оптическое волокно

ПД – передача данных

ЛЭП – линии электропередач

ОКБ – кабель оптический бронированный

ОКС – кабель оптический стационарный

ЦСЭ – Центральный силовой элемент

ADSL – (Asymmetric Digital Subscriber Line) асимметричная цифровая абонентская линия

P2P – (peer-to-peer) равный к равному, оверлейная компьютерная сеть, основанная на равноправии участников

мультиплексирование по длине волны

ЦСП – цифровая система передачи

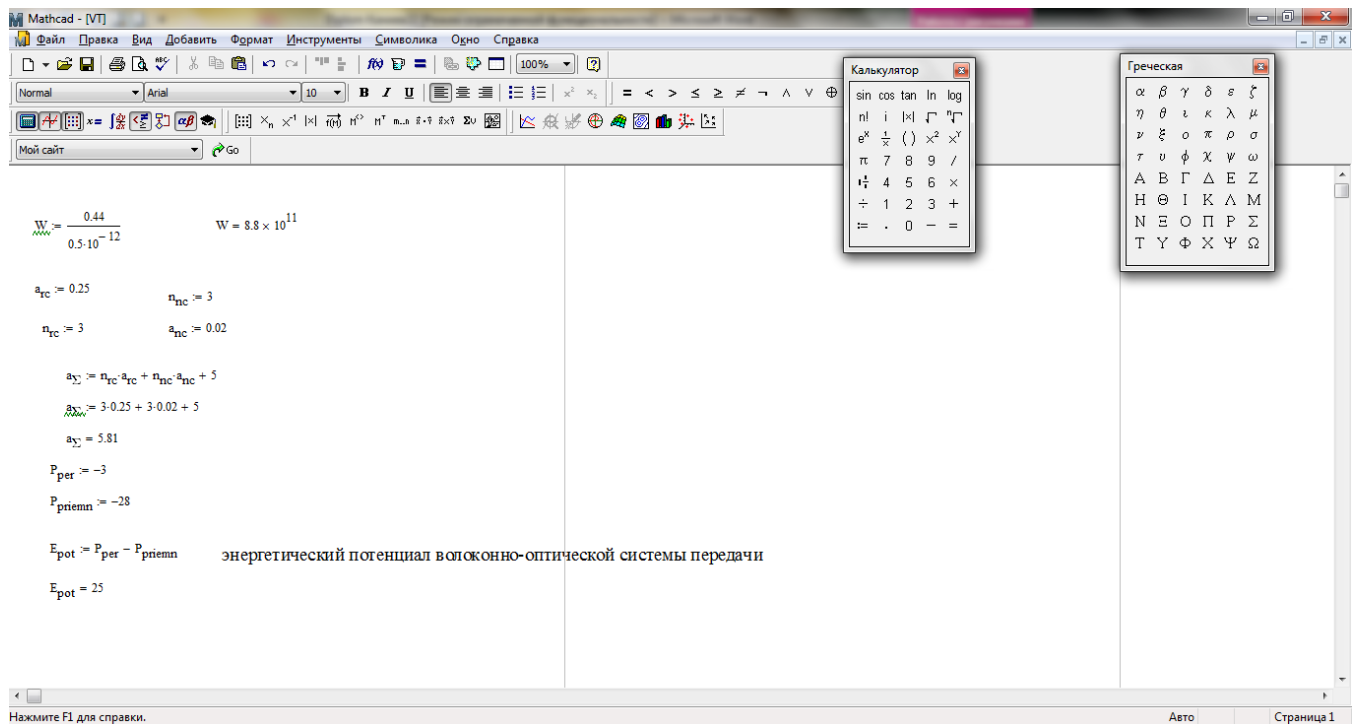
STM – (Synchronous Transport Module) синхронный транспортный модуль

TDM – (Time Division Multiplexing) временное мультиплексирование информационных потоков

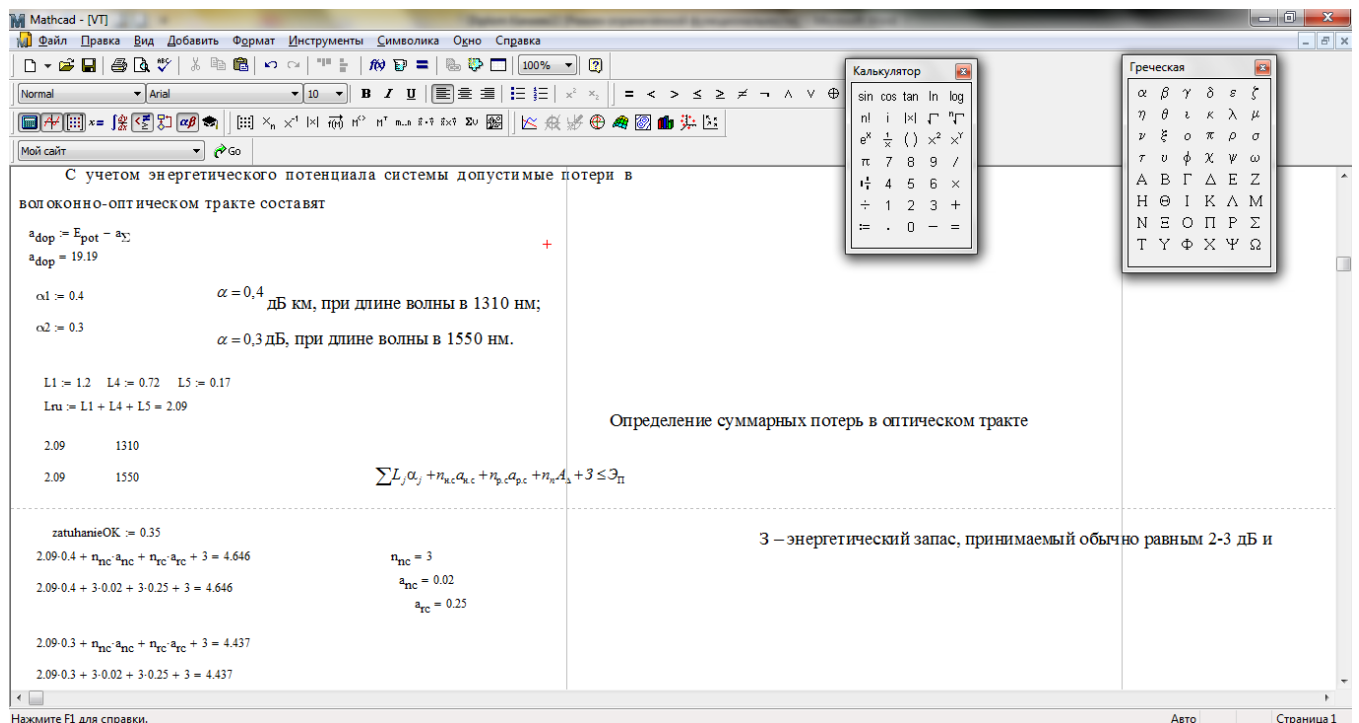
SOP – (State of Polarization) ортогонально поляризованные составляющие электрического поля или состояния поляризации

PMD – (Polarization Mode) поляризационная модовая дисперсия

## Приложение А



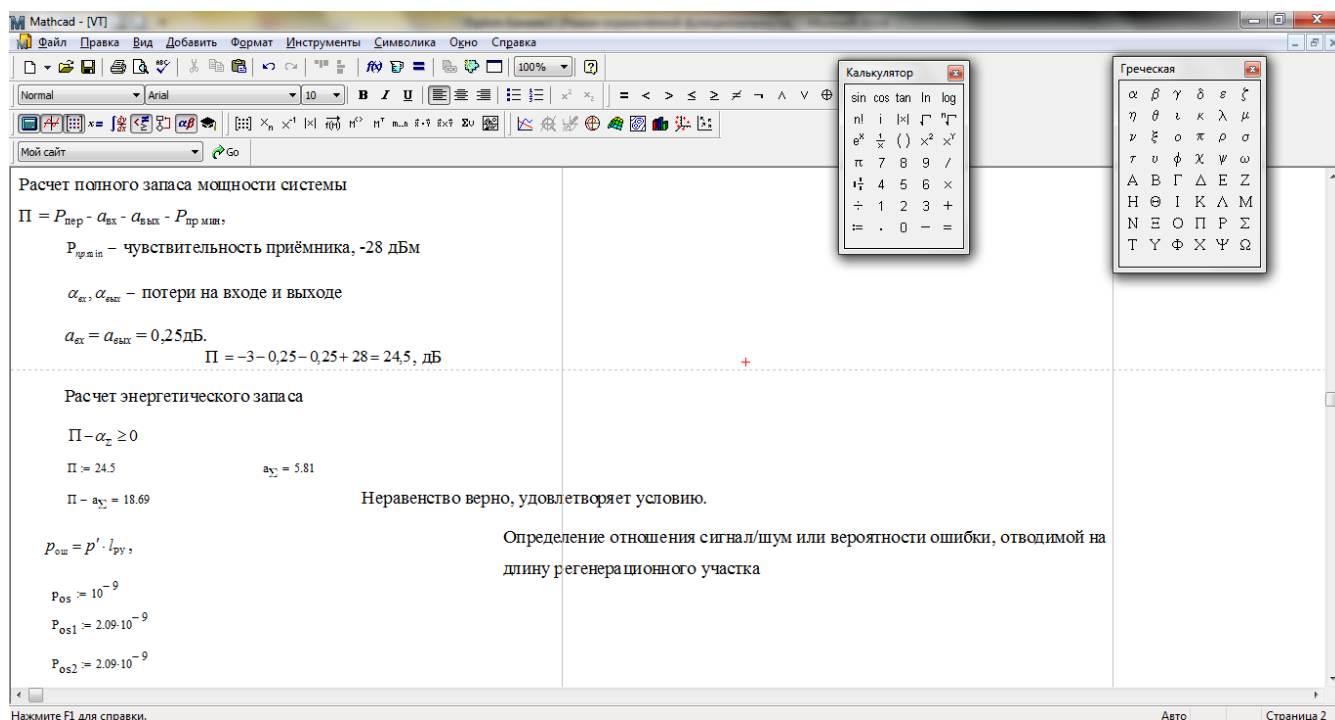
**Рисунок А1 – Расчет основных параметров волоконно-оптической линии в программе MathCAD**



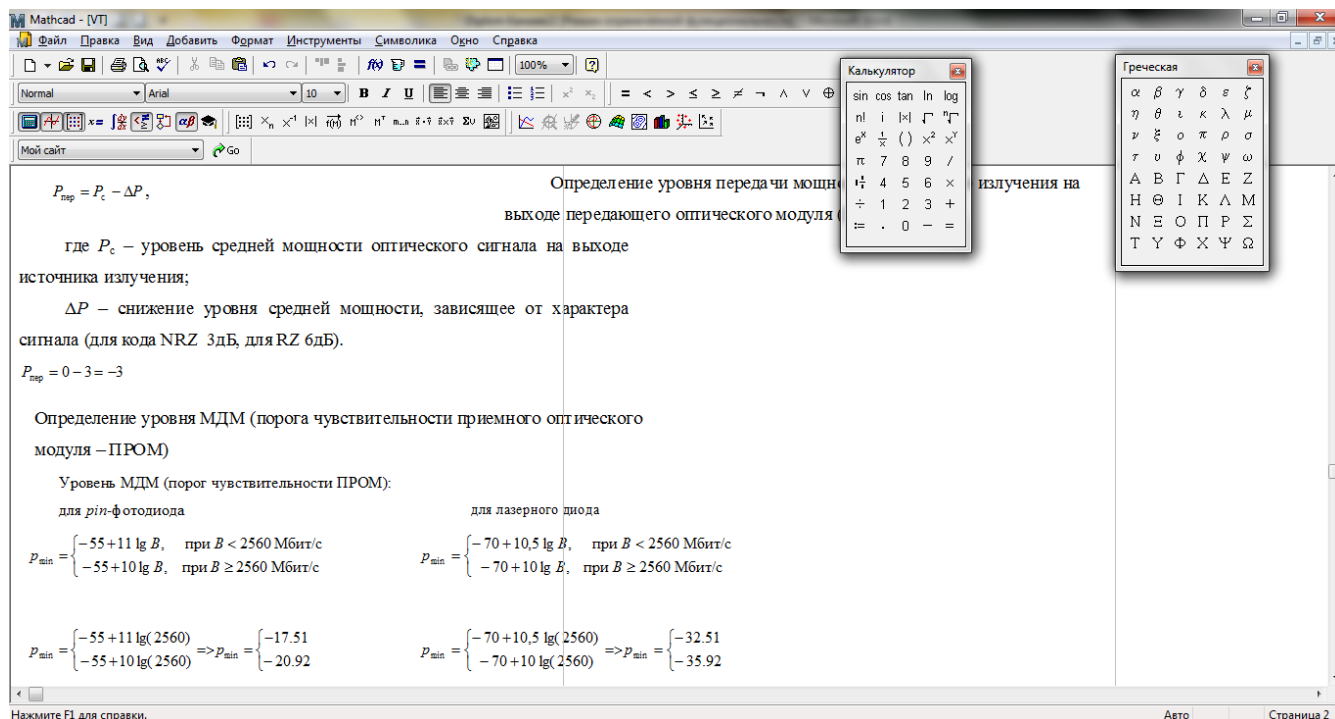
**Рисунок А2 – Расчет основных параметров волоконно-оптической линии в программе MathCAD**



## Приложение Б

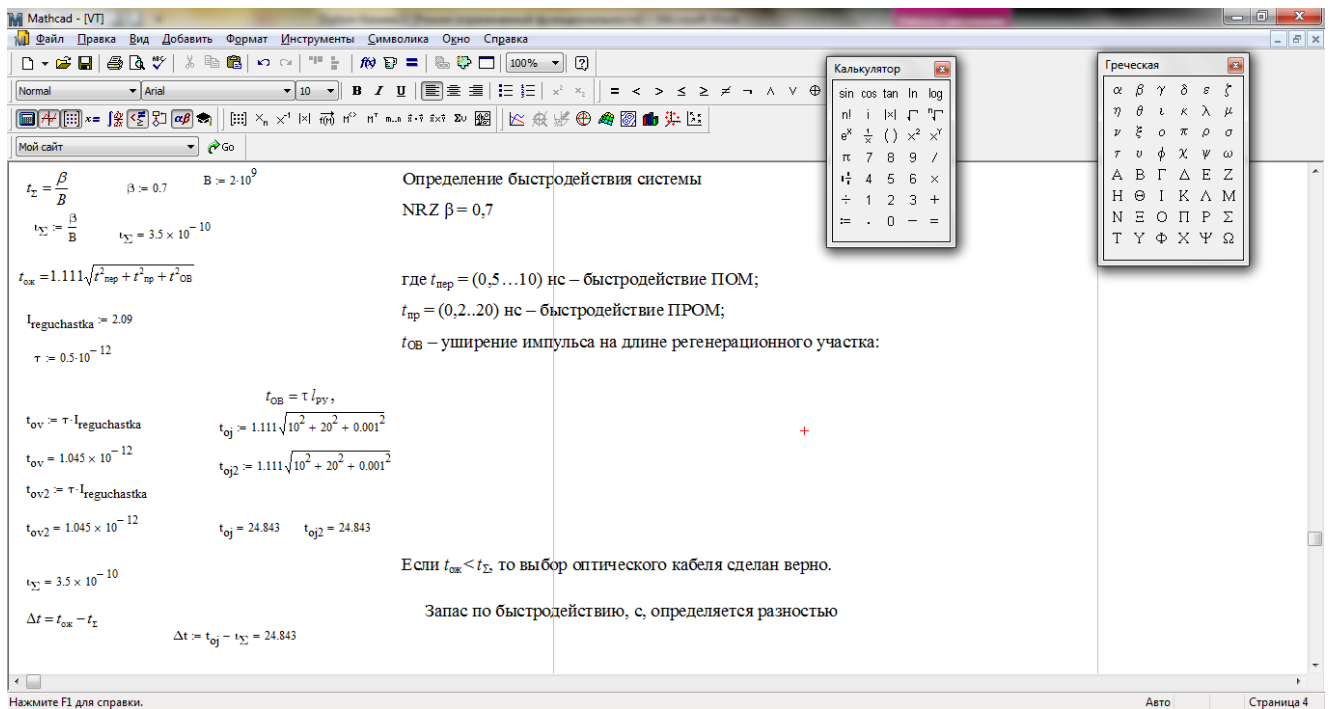


**Рисунок Б1 – Расчет основных параметров волоконно-оптической линии в программе MathCAD**

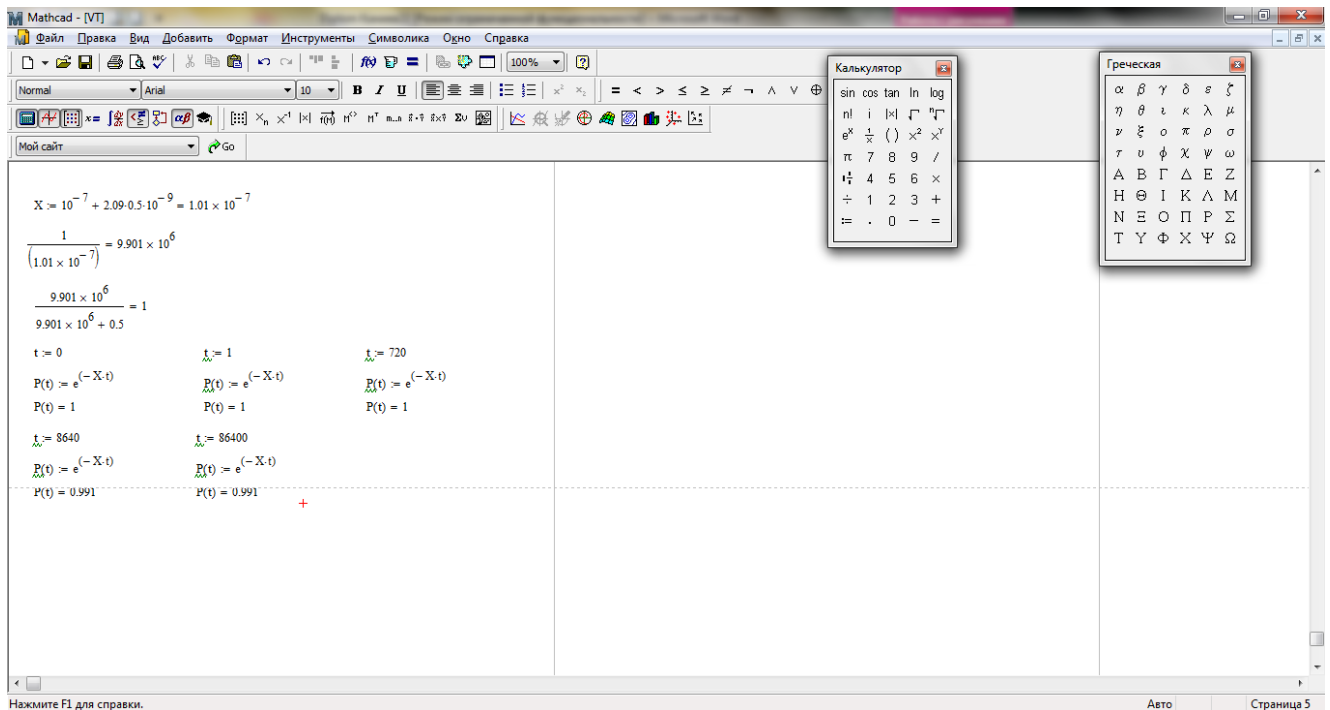


**Рисунок Б2 – Расчет основных параметров волоконно-оптической линии в программе MathCAD**

## Приложение В



**Рисунок В1 – Расчет основных параметров волоконно-оптической линии в программе MathCAD**



**Рисунок В2 – Расчет основных параметров волоконно-оптической линии в программе MathCAD**