

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Телекоммуникационных систем

«Допущен к защите»  
Заведующий кафедрой Мурр К.Т.Н.

Байкенов А.С.  
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

«    » 20 г.  
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Проектирование абонентской сети  
в г. Бесбоа в Каркаралинской  
области.

Специальность 5В071900- Радиотехника, элект. и телеком.

Выполнил (а) Жумсанов А.Ж. гр. РЭУ-12  
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Загородов Х.Г. ст. пр.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Бекмурзаева А.У., к.э.н., доцент  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
А.У. «16» 06 2016 г.  
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Приходько И.Г., д.т.н., проф.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
И.Г. «16» 06 2016 г.  
(подпись)

по применению вычислительной техники:

К.Т.Н., ст. пр. каф. ТКС, Вержинова Л.О.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Вержинова Л.О. «16» 06 20 г.  
(подпись)

\_\_\_\_\_  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
«    » 20 г.  
(подпись)

Нормоконтролер: Денисцова Т.Д., ст. пр. м.  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
Т.Д. «17» июль 2016 г.  
(подпись)

Рецензент: \_\_\_\_\_  
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)  
«    » 20 г.  
(подпись)

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Радиотехники и связи  
Специальность 5В041900 - Радиотехника, элек. и телеком.  
Кафедра Микрокоммуникационных систем

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Жумшакову Алматы  
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Проектирование абонентской  
сети в г. Бесоба Каркаралинской  
области.

утверждена приказом ректора № 148 от «19» 10 2015 г.

Срок сдачи законченной работы «25» 05 2016 г.

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

Расстояние сетевого тракта 114 км  
технич. хар. OLT/LE.  $P = \pm 2, \pm 7,96 / (c 1000BASE-PX20-D, U)$   
потери 0,35 дБ/км Надежность  $P_{охв} = 0,64$ ,  $R = 671,10$  м/км.  
 $\gamma_D = 0,74$ ,  $C = 2,31 \cdot 10^{-8}$  Ф/км,  $L = 11,53 \cdot 10^{-4}$  Гн/км.  
 $N_{12} = 0,031$  км.,  $A_0 = 44,3$  дБ

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

1. Теоретические сведения по проектированию объекта
2. Развитие сетей доступа
3. Отличительные особенности ADSL от коммутируемого доступа
4. Стадии развития сетей доступа на оптике
5. Преимущества оптич. сетей доступа перед сетями медного и коакс. кабелей
6. Особые режимы сетей доступа
7. Расчет. часть.
8. Расчет надежности ОК, парам. пер.ч. в.в.
9. Безопас. жизнедеят.
10. Экон. часть



Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Карта существ. тракта Бесоба-Караган
2. Доступ по технологии ADSL
3. Две абонентские линии подкют.-ся в два порта одного DSLAM
4. Архит-а построения сетей оптич. дост.
5. Организация оптической сети
6. Схемa сети PON
7. Прероствавление IPTV
8. Протоколы, обеспечи. доставку мультимедиа в IP сети
9. Протоколы и оборудование.

Рекомендуемая основная литература

1. ГИК. По абонентскому доступу.
2. Горнак А.М., Организация доступа на базе xDSL: современ. технологии.
3. Барабаш П. и др. Новые времена, новые сети
4. Барабаш Р. и др. Проверенные технологии сетей абонентского доступа.

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
БЖД	Бригорович И.Г.	18.03-16.06.16	И.Г.Б.
Экон. часть	Березина А.А.	16.06.16	А.А.Б.
Вычисл. тех.	Березина А.А.	18.03-16.06.16	А.А.Б.
Технич. часть	Кадыров Х.К.	19.05/3.06.16	Х.К.К.

## ГРАФИК

ПОДГОТОВКИ ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТА

[illegible]

Дата выдачи задания « 19 » 10 20 15 г.

Заведующий кафедрой

(подпись)

(Фамилия и инициалы)

Руководитель

Weeks

Жадыров А. Г.

(Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению  
студент

(подпись)

Жуковский А.

(Фамилия и инициалы)

## **Аңдатпа**

Осы жұмыста ұсынылған жобалау мәселелері абонентского доступа в г. Бесоба. Дана жобаланатын объектінің сипаты қарастырылды даму қағидаттары қатынау желілерін және жұмыс істеу режимдерінің ерекшеліктері қатынау желілері. Қаралды технологиялық сипаттамалары оптикалық қатынау желілерін, зерттеу жүргізілді моделі инфокоммуникациялық жүйесінің. Есептік бөлімінде берілген шығындарды анықтау оптикалық қол жеткізу желісінің берілді есептеу параметрлерін беру және өзара әсері, ұсынылған таңдау оптического коммутатора берілді параметрлерін есептеу коммутатор. Мәселелері қауіпсіздік техникасы. Ұсынылған экономикалық есептеу.

## **Аннотация**

В данной работе представлены вопросы проектирования абонентского доступа в г.Бесоба Каркаралинской области. Дана характеристика проектируемого объекта, рассмотрены принципы развития сетей доступа и особенности режимов работы сетей доступа. Рассмотрены технологические характеристики оптических сетей доступа, проведено исследование модели инфокоммуникационной системы.

В расчетной части дано определение затрат оптической сети доступа, дан расчет параметров передачи и взаимного влияния, представлен выбор оптического коммутатора и дан расчет параметров коммутатора. Рассмотрены вопросы техники безопасности .Представлен экономический расчет проекта.

## **Annotation**

In hired the questions of planning of subscriber access are presented in Besoba. Description of the designed object, is Given principles of development of networks of access and feature of the modes of operations of networks of access are considered. Technological descriptions of optical networks of access are considered, a study of model of the of инфокоммуникационной system is undertaken.

Determination of expenses of optical network of access is given in calculation part, the calculation of parameters of transmission and cross-coupling is given, the choice of optical коммутато is presented.

## Содержание

Введение	7
1 Характеристика проектируемого объекта	8
1.1 Принципы развития сетей доступа	8
1.2 Отличительные особенности ADSL от коммутируемого доступа (DIAL-UP)	12
1.3 Стадии развития сетей доступа на оптические технологии	18
1.4 Преимущества оптических сетей доступа перед сетями, построенными на основе обычного медного или коаксиального кабеля	19
1.4.1 Особенности режимов работы сетей доступа	20
1.4.2 Архитектурные особенности оптических сетей доступа	27
1.4.3 Технологические характеристики оптических сетей доступа	29
1.5 Исследование модели инфокоммуникационной системы	32
1.6 Различные технологии передачи информации	38
2 Расчетная часть	40
2.1 Определение затрат оптической сети доступа	40
2.2 Расчет надежности оптического кабеля	44
2.3 Расчет параметров передачи и взаимного влияния	46
2.4 Выбор оптического коммутатора и расчет параметров коммутатора	50
3 Бизнес план	53
4 Безопасность жизнедеятельности	60
Заключение	70
Список литературы	71
Приложение А Результаты расчетов	72
Приложение В Результаты расчетов	73

## **Введение**

Плоскость коммутационных услуг является базовой для создания интеллектуальных сетей баз данных и их технической и экономической доступности для пользователей. Функционирование коммутационных узлов определяет нагрузку( трафик) транспортных сетей и их соответствующее развитие. Одной из самых проблемных и динамично развивающейся частей современных телекоммуникаций является доступ терминалов пользователей к узлам предоставления услуг. При этом наблюдаются следующие тенденции развития доступа:- использование существующей инфраструктуры низкочастотных медных линий для предоставления доступа к узкополосным и широкополосным услугам средствами модемов цифровых абонентских линий xDSL( Digital Subscriber)и разновидностях симметричных ассиметричных и высокоскоростных линий (HDSL, ADSL,VDSL. ) в которых могут передаваться сигналы на скоростях от десятков кбит/с до десятков Мбит/ с) 64 кбит/с- 50 Мбит/ с) на относительно небольших расстояниях от десятков и сотен метров до нескольких километров;- использование технологий : «волокно в дом», «волокно в распределительный шкаф, «волокно в офис» и т.д. обозначаемых FTTx(Fiber To The Home),например пассивной оптической сети PON основанных на сети ВОЛС для организации доступа к любым видам услуг. Целью данной работы является проектирование абонентской сети в г.Бесоба Каркаралинской области(Карагандинской области).



## 1 Характеристика проектируемого объекта

Бесоба — село в Каркаралинском районе Карагандинской области Казахстана. Административный центр Бесобинского сельского округа находится примерно в 73 км к западу от районного центра, города Каркаралинска, а от города Караганды 114 км.

Население в 1999 году население села составляло 1302 человека (697 мужчин и 605 женщин)<sup>1</sup>. По данным переписи 2009 года, в селе проживали 1062 человека (552 мужчины и 510 женщин).

Расстояние между аул Бесоба и Караганда 114км.

Почтовый индекс : 100808

Телефонный код : +7 (72132 36)

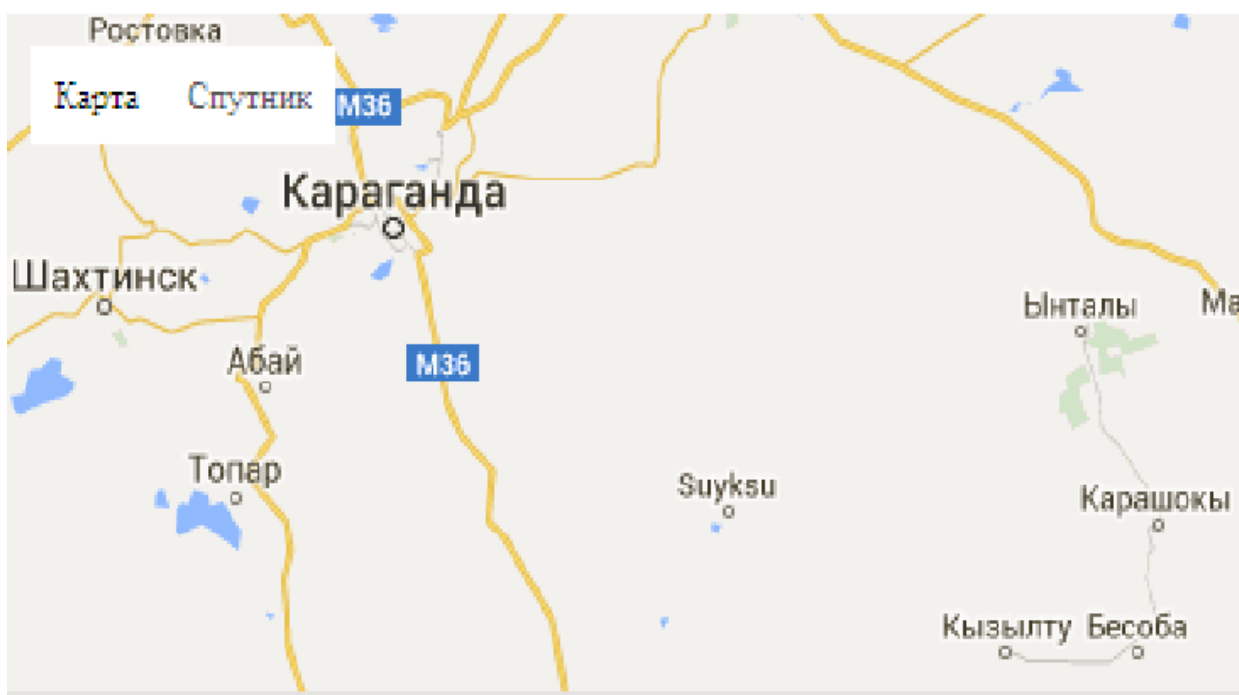


Рисунок 1.1- Карта протяженности Караганды - Бесоба

### 1.1 Принципы развития сетей доступа

Построение сетей доступа

Сети доступа развиваются в четырех направлениях:

- беспроводные сети;
- гибридные волоконно-коаксиальные сети (HFC);
- сети на основе существующих медных витых телефонных пар с применением технологии xDSL;
- волоконно-оптические сети.

Сети доступа классифицируются может по ряду признаков:

- по набору предоставляемых услуг (назначение передаваемой информации, по уровням в соответствии с уровневой моделью);
- по используемым средам передачи (кабели с медными проводниками,



оптические кабели, радиосреды в различных диапазонах волн);

- по используемой топологии (точка-точка, звезда, дерево, ячеистая, кольцо);

- по используемым технологиям доставки информации (кабельные, беспроводные, комбинированные);

- по методам разделения среды передачи (статическое, статистическое мультиплексирование).

Информация передачи делится по своему назначению на следующие виды:

- пользовательская (данные, видео, речевая информация...) – (User, U);

- сигнальная (например, для поддержания процедур установления и разъединения соединения) – (Control, C);

- управления (для сбора аварийных сигналов, тестирования, администрирования и др.) – (Management, M).

При классификации по уровням в соответствии с уровневой моделью услуги соответствуют функциям протокола конкретного уровня:

- физического (среда передачи) – функции синхронизации, мультиплексирования;

- звена данных – защита от ошибок;

- сетевого – маршрутизация сообщений.

С точки зрения вышележащих уровней, в доступе реализуются только услуги сигнализации (C) и управления (M). Для их поддержки устройства доступа могут содержать функциональные узлы для обработки всего стека протоколов в плоскости C или M.

Услуги верхних уровней в плоскости U реализуются, как правило, за пределами сети доступа – а именно в конечных терминалах пользователей (TE, CPE) и сетевых серверах (узлах служб – SN). В этом смысле в плоскости U сеть доступа выполняет только функции транспортировки информации пользователя между интерфейсами UNI и SNI (т.е. услуги протоколов нижних уровней).[1]

Узел доступа реализуется технологиями доставки информации для любого терминального устройства, подключаемого с помощью:

- средств аналогового доступа сетей связи общего пользования (CCOP);

- средств вазового (BRI) и первичного доступа (PRI) ISDN;

- цифровых абонентских линий (xDSL);

- пассивных оптических сетей (Passive Optical Net, PON);

- радиодоступа (микросотовый беспроводный доступ DECT, Bluetooth, Radio Ethernet и высокоскоростные локальные радиосети ETSI HIPERLAN).

Следующим традиционным решением является гибридная волоконно-коаксиальная сеть (HFC, HybridFiber-Coaxial). Снижение затрат при построении сети за счет использования подключения множества кабельных модемов на один коаксиальный сегмент является привлекательным для операторов связи. Главным минусом таких систем считается ограниченная

полоса пропускания.

При возникновении трудностей в прокладке кабеля привлекательным считается решение беспроводных сетей. За последние годы все большую популярность получает технология WiFi, которая имеет общую полосу до 300 Мбит/с. Минусом считается то, что для получения данной скорости необходимо минимальное расстояние от данной точки до клиента.

Но наибольшую привлекательность имеют оптические линии связи, которые способны предоставить максимальные скорости абонентам. В последние годы данный способ получил большую признательность за счет снижения цен на оптическое оборудование.

Прокладка оптического кабеля для организации сети доступа стала выгодной как для обновления старых, так строительства новых сетей («последних миль»). Для этого используется множество вариантов выбора волоконно-оптической технологии доступа:

- использование решений на основе оптических модемов;
- оптического Ethernet;
- технологии Micro SDH;
- на основе пассивных оптических сетей PON.

Основная цель сети доступа – обеспечение надежной и высококачественной связи между всеми видами оборудования, установленного в помещении потенциальных клиентов оператора, и соответствующими транзитными сетями. Одна из существенных особенностей сети доступа – длительное использование технологии доставки информации.

Сеть доступа является наиболее капиталоемкой, поэтому ни один элемент телефонной системы не пребывал столь долго в состоянии «стагнации», как сеть доступа [1].

Сложившаяся ситуация объясняется двумя основными причинами:

- до недавнего времени не существовало технических средств, с помощью которых можно было бы строить обычные (узкополосные) сети доступа более экономично;
- физические цепи обеспечивали потребности в информационном обмене (пока он не потребовал более мощных ресурсов, чем канал ТЧ) и поддерживали значительную часть новых услуг.

В настоящее время перед операторами связи, работающими в условиях жесткой конкуренции, стоит задача обеспечения широкого спектра телекоммуникационных услуг, который не ограничивается функциональными возможностями традиционной телефонии.

Эта задача требует пересмотра подходов к построению телекоммуникационных сетей. Одно из самых современных решений – создание мультисервисной сети нового поколения. Такой подход позволяет экономично развивать телекоммуникационную систему, удерживая эксплуатационные расходы в разумных пределах. В качестве базовой

технологии для построения таких сетей все чаще выступает протокол IP (Internet Protocol).

Один из самых простых и недорогих способов увеличения численности абонентов по кабельным системам на базе медных витых линий связи-технология xDSL. Такой путь считается для операторов одним из самых оправданных и экономичных при предоставлении скорости от 1 до 8 Мбит/с. Но для предоставления скоростей передачи в несколько десятков Мбит/с, на таких системах является дорогостоящим и не самым простым решением, учитывая плохое качество меди и больших расстояний передачи.

Технология широкополосного доступа (технология скоростной передачи данных по сети, используется как медный, так и волоконо-оптический кабель) в Интернет, позволяющая одновременно пользоваться телефоном и Интернетом- ADSL. При этом телефонная линия всегда свободна, а Интернет работает с высокой скоростью.

ADSL – технология, позволяющая сделать из аналоговой телефонной линии скоростную цифровую. Одной из главных достоинств технологии ADSL является - высокое качество соединения.

ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) расшифровывается как «Асимметричная цифровая абонентская линия», что подчеркивает изначально заложенное в этой технологии различие скоростей обмена информацией в направлениях к абоненту и обратно. Асимметричность ADSL подразумевает передачу больших объемов информации к абоненту (видео, массивы данных, программы) и небольших объемов от абонента (в основном команды и запросы). Такая асимметричность абсолютно не мешает пользователю, так как поток данных «от клиента» при использовании Интернетом на порядок ниже, чем «к клиенту». ADSL обеспечивает передачу данных на скоростях, достаточных для эффективной работы с различными данными, в том числе цифровым видео или мультимедиа.[1]

Особенности технологии

- Подключение к сети Интернет 24 часа в сутки;
- Высокая скорость передачи данных;
- Устойчивость, надежность и высокое качество связи;
- Свободные телефонные линии во время работы в интернете (возможность одновременной передачи данных и телефонных разговоров по стандартной телефонной паре);
- Постоянное подключение без необходимости дозвона;
- Возможность одновременной работы в интернете всех сотрудников офиса.

Преимущества для клиентов:

- Отсутствие проблемы организации «Последней мили»;
- Широкий выбор тарифных планов;
- Выгодный шаг биллинга – 10 Мб.

## **1.2 Отличительные особенности ADSL от коммутируемого доступа (DIAL-UP)**

Коммутируемый доступ (dial-up) – это временное (сеансовое) подключение Вашего компьютера к Интернету по телефонной линии. Перед началом сеанса работы в сети Интернет Ваш модем дозванивается до модемного пула провайдера и устанавливает соединение. К сожалению, скорость передачи аналогового модема в значительной мере зависит от качества телефонной линии и установленного соединения. Именно поэтому, получить максимальную скорость передачи данных практически невозможно. Другим недостатком можно считать тот факт, что во время работы в сети Интернет отсутствует возможность пользования телефонной сетью. Оплата услуг при использовании данного типа подключения осуществляется по времени доступа в сеть или по трафику.

При использовании ADSL доступа, в отличие от Dial-up, Вы платите исключительно за входящий трафик. Если Вы осуществляете подключение по существующей телефонной линии, нет необходимости проводить дополнительные монтажные работы. Достаточно подключить ADSL модем к уже существующей телефонной линии и компьютер готов для выхода в Интернет. В данном случае пользователь имеет возможность одновременно говорить по телефону и находиться в сети Интернет. Кроме того, нет необходимости каждый раз дозваниваться до модемного пула провайдера – подключение к Интернет по технологии ADSL дает возможность круглосуточного доступа к мировым информационным ресурсам в режиме «on-line».[1]

Перечисленные выше преимущества коротко приведены в следующей таблице:

Таблица 1.1

<b>Доступ по Dial-up</b>	<b>Доступ по ADSL</b>
<b>Телефон занят</b> При использовании клиентом услуги коммутируемого соединения (через модем, набирая телефонный номер модемного пула провайдера), Клиент либо работает с информацией в сети (и в этом случае телефон занят для входящих звонков), либо разговаривает по телефону, не имея связи с Интернетом.	<b>Телефон всегда свободен</b> Подключение к Интернет по технологии ADSL избавляет Клиента от трудной дилеммы и даст возможность, одновременно вести телефонный разговор и быть подключенным к сети Интернет.
<b>Нестабильная связь</b> Технология доступа требует неоднократного "набора" телефонного номера провайдера перед каждым сеансом работы, на что	<b>Постоянное соединение</b> Используя подключение к Интернету по технологии ADSL, Вы получаете круглосуточный доступ к мировым информационным ресурсам.



затрачивается время.	
<b>Относительно низкая скорость доступа</b> Максимальная и предельно возможная скорость при использовании аналогового модема - 56 Кбит/сек.	<b>Высокая скорость доступа</b> Технология ADSL обеспечивает передачу информации к абоненту со скоростью до 24 Мбит/сек., а от абонента со скоростью до 3,5 Мбит/сек.

По сравнению с системами спутникового и беспроводного доступа, доступ по технологии ADSL дает более высокое качество соединения, близкое к качеству волоконно-оптических линий. По сравнению с проводными выделенными каналами для ADSL не требуется изыскивать свободную медную пару.

По сравнению с технологиями традиционных кабельных модемов и волоконно-оптических линий главное преимущество ADSL состоит в том, что для нее используется уже существующий телефонный кабель. На окончаниях действующей телефонной линии устанавливаются специальные устройства (сплиттеры) - один на АТС и один в офисе клиента.

К абонентскому разделителю частот подключаются обычный телефон и ADSL модем, который в зависимости от исполнения может выполнять функции маршрутизатора (router) или моста (bridge) между локальной сетью клиента и пограничным маршрутизатором провайдера. При этом работа модема абсолютно не мешает использованию обычной телефонной связи.[4]

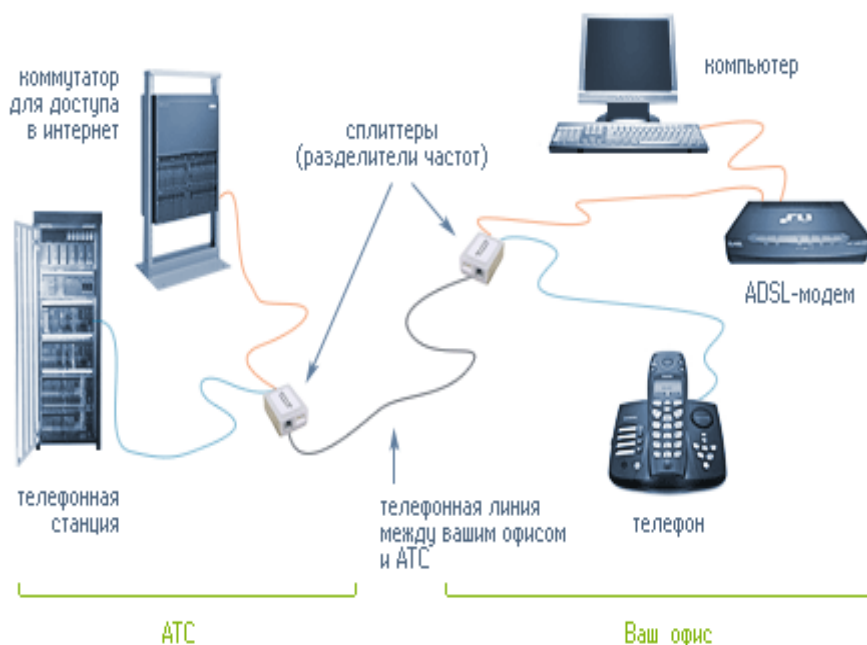


Рисунок 1.2 - Доступ по технологии ADSL

ADSL модем - модем, поддерживающий технологию ADSL

Сплиттер - предназначен для разделения низкочастотного сигнала обычной телефонной связи (спектр голосовых сигналов) и высокочастотного сигнала ADSL.

Хотя в ADSL и в коммутируемом доступе используется одна и та же телефонная линия, услуги получаются совершенно разными. Дело в том, что «медный провод», приходящий в офис клиента, подключен к телефонной станции, которая настроена на прием сигнала шириной 4 кГц, вполне достаточной для передачи голоса. Обычный модем просто подстраивается под возможности телефонной сети, а потому имеет скорость, ограниченную 56Кбит/с. Однако, технические возможности самой «медной пары» гораздо выше, ее пропускная способность приближается к 1МГц, и поэтому через нее можно «гонять» данные на мегабитных скоростях.

Именно для того, чтобы сделать цифровую высокоскоростную линию, к окончаниям «медной пары» подключаются сплиттеры или микрофильтры, которые обеспечивают одновременную работу в линии телефона и Интернета. Один выход стационарного сплиттера подключен с АТС, а другой к мультиплексору (DSLAM), связанному с Интернетом. Клиентский сплиттер устанавливается в офисе клиента, от него идут два провода - один к ADSL-модему, а другой ко всем телефонным розеткам. Более удобной для абонента является схема подключения с микрофильтрами, когда модем подключается к линии напрямую, а все телефоны, факсы и пр. аналоговые устройства подключаются к кабелю через микрофильтры.

Услуги IP VPN используют технологию MPLS VPN и различные сети передачи данных АО «Казахтелеком»: магистральную сеть IP MPLS, внутригородские сети распределения и доступа MetroEthernet, линии доступа - оптические и медные.

Доступ организуется посредством технологий Ethernet (оптика либо медь с использованием медиа-конвертеров из оптики в медь), DSL (медные пары, телефонные линии связи).

В общем случае, в подключении клиента используются следующие сегменты: СЕ-устройство (пограничное устройство клиента) - абонентская линия (оптика или медь) - узел доступа (DSLAM в распределительном шкафу или на узле связи) - коммутатор доступа (устройство агрегации абонентов в сети MetroEthernet) - сеть коммутации MetroEthernet - сервисные маршрутизаторы (РЕ-устройства) - магистральная сеть.[4]

Ниже представлены различные уровни резервирования различных сегментов подключения клиентов.

Сегмент подключения клиентов «Линия»

Резервируется физическое подключение клиента - абонентская линия от распределительного шкафа к терминальному устройству абонента (DSL-модем, оптический порт на маршрутизаторе, коммутаторе, оптический конвертер).

Клиент защищается от обрыва физической линии между распределительным шкафом и терминальным устройством. Две абонентские

линии подключаются в два порта на одном DSLAM. Таким образом, основной и резервный канал связи имеют общий сегмент связи по сети коммутации от DSLAM в распределительном шкафу до сервисного узла (PE-устройство).

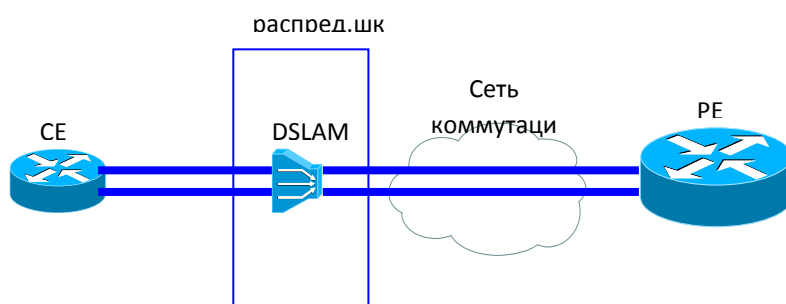


Рисунок 1.3 - Две абонентские линии подключаются в два порта одном DSLAM

Требования к оборудованию клиента: поддержка двух DSL- или оптических портов, либо два модема DSL, подключенных к двум портам коммутирующего или маршрутизирующего устройства, либо два медиа-конвертора, подключенных к медным Ethernet/FastEthernet/GigabitEthernet-портам коммутатора/маршрутизатора в случае использования оптических портов.

Поддержка динамической маршрутизации по протоколу BGP.

Сегмент подключения клиентов «Узел»

Резервируется узел, к которому подключается клиент. Разные абонентские линии подключаются к разным DSLAM либо к разным коммутаторам доступа (в случае оптического подключения).

Клиент защищается от обрыва физической линии, отказа узла подключения.

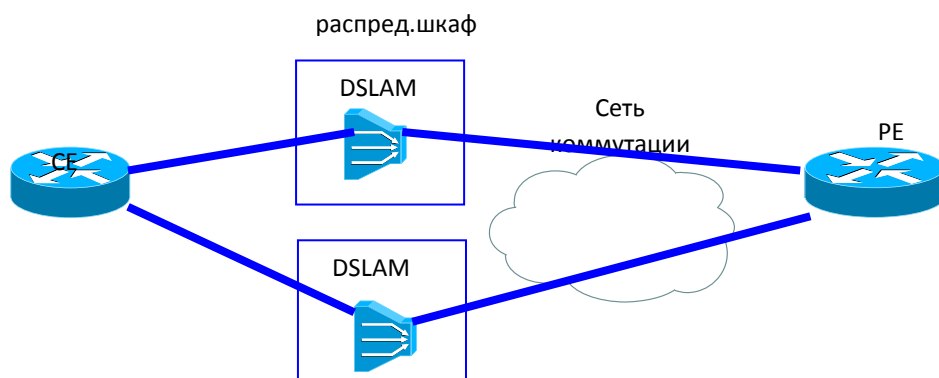


Рисунок 1.4-Разные абонентские линии подключаются к разным DSLAM

Требования к оборудованию клиента: поддержка двух DSL- или оптических портов, либо два модема DSL, подключенных к двум портам коммутирующего или маршрутизирующего устройства, либо два медиа-конвертора, подключенных к медным Ethernet/FastEthernet/GigabitEthernet-

портам коммутатора/маршрутизатора в случае использования оптических портов.[4]

Сегмент подключения клиентов «Сервис» статическая маршрутизация  
Клиент подключается к IP VPN статически (/29 в общем случае):

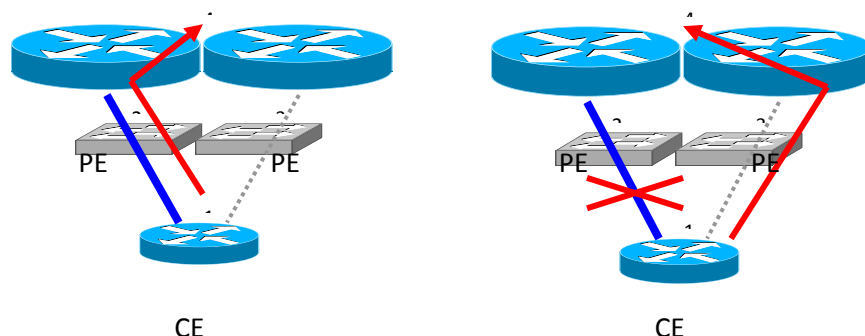


Рисунок 1.5- Поддержка двух DSL- или оптических портов, либо два модема DSL, подключенных к двум портам коммутирующего или маршрутизирующего устройства

Используется технология VRRP, позволяющая использовать виртуальный IP-адрес (1.4 на схеме), который доступен для клиента как основной шлюз даже в случае если основной канал (рис.1.1 - 1.4 на схеме) перестает работать. В случае потери связи основного канала функции по виртуализации основного шлюза берет на себя резервный канал (1.1 - 1.3 на схеме), таким образом обеспечивая отказоустойчивость основного шлюза.

Согласно такой схеме только один из двух каналов может быть утилизирован одновременно.

Требования к оборудованию клиента: модем-маршрутизатор или модем-бридж. Клиент должен использовать только адрес виртуального шлюза (рис.1.4) для обеспечения отказоустойчивой схемы подключения. В противном случае, если он указывает для части трафика адрес шлюза (рис.1.2), а для части – (рис.1.3), клиент нарушает условия договора и теряет автоматическую отказоустойчивость.

Поддержка двух DSL- или оптических портов, либо два модема DSL, подключенных к двум портам коммутирующего или маршрутизирующего устройства, либо два медиа-конвертора, подключенных к медным Ethernet/FastEthernet/GigabitEthernet-портам коммутатора/маршрутизатора в случае использования оптических портов.

Сегмент подключения клиентов «Сервис», динамическая маршрутизация

При подключении клиента по BGP, то есть, по протоколу динамической маршрутизации, клиент может самостоятельно балансировать нагрузку на оба канала средствами маршрутизации BGP, получая таким образом возможность утилизации обоих каналов по умолчанию. В случае потери связи одного из каналов весь трафик может быть перенаправлен в другой канал.



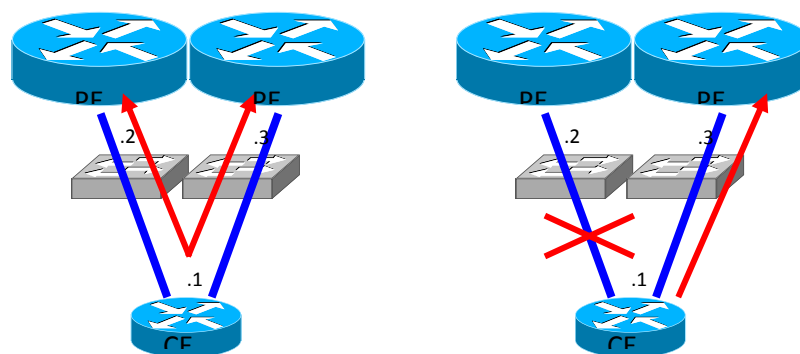


Рисунок 1.6- Подключение клиента по BGP, то есть, по протоколу динамической маршрутизации

Устанавливая две сессии с разными PE-устройствами, CE-устройство клиента балансирует исходящий трафик на основе атрибута BGP local preference, а входящий трафик - на основе атрибутов MED и AS\_PATH.

Требования к оборудованию клиента: модем-маршрутизатор с поддержкой протокола BGP. Поддержка двух DSL- или оптических портов, либо два модема DSL, подключенных к двум портам коммутирующего или маршрутизирующего устройства, либо два медиа-конвертора, подключенных к медным Ethernet/FastEthernet/GigabitEthernet-портам коммутатора/маршрутизатора в случае использования оптических портов.

Поддержка динамической маршрутизации по протоколу BGP.

Сегмент подключения клиентов «Магистраль»

Используется в случае, когда клиенту требуется резервирование магистральных каналов связи и устройств магистральной сети, когда требуется поддержка двух самостоятельных магистральных плоскостей маршрутизации, независимых друг от друга.

Резервируется домен MPLS-коммутации (P-маршрутизаторы), сервисные маршрутизаторы (PE-маршрутизаторы), точки подключения. Предполагается, что клиент подключается непосредственно на узле магистральной сети оптическими линиями связи.

Требования к оборудованию клиента: два оптических порта FastEthernet/GigabitEthernet на коммутаторе или маршрутизаторе. Поддержка динамической маршрутизации по протоколу BGP.[4]

### 1.3 Стадии развития сетей доступа на оптические технологии

Сети доступа (СД) - наиболее динамично развивающийся сегмент телекоммуникационной отрасли. Сети доступа напрямую связаны с предоставлением операторских услуг пользователям, и из-за этого даже при неблагоприятных экономических условиях они окупаются. Постоянное совершенствование технологии, для удовлетворения новых потребностей абонентов, появляются новые, характерные только для этих сетей, технические решения.

СД только переходят оптические сети, по сравнению с транспортными сетями, поэтому можно сказать, что они находятся в стадии развития, что делает их технически и финансово интересными.

Обычно абонентские кабельные сети состояли из двух видов сетей: телефонные сети на медных НЧ кабелях и распределительные коаксиальные сети кабельного или эфирного телевидения. Несмотря на то, что телефония является наиболее востребованной услугой, значительно возрос спрос на услуги интернет, как среди офисных центров, так и среди домашних пользователей.

Предоставление абонентам таких услуг как телефония, передача данных и видеоинформации через одну сеть – это набирающая популярность концепция «тройной услуги» (TriplePlay). При этом высокоскоростной интернет, видео требуют значительных широкополосных сетевых ресурсов.

Также, увеличение спроса на широкополосный доступ обусловлено развитием новых технологий: видео по запросу (VOD), потоковое видео, интерактивные игры, видеоконференции, передача голоса в компьютерных сетях (VoIP), телевидение высокой четкости (HDTV) и другие.

При выборе технологии широкополосного доступа операторы должны учитывать потребности абонентов, предоставляемые им услуги, экономические аспекты, их местоположение. Сеть должна иметь такие характеристики как широкополосность, гибкость, надежность, управляемость, масштабируемость, удобство в эксплуатации.

Только временным выходом из сложившейся ситуации можно считать применение на СД модемов xDSL. При экономии при использовании существующих линейных сооружений существенно ограничивается скорость передачи цифровых потоков.

С точки зрения скорости передачи - даже самые современные модемы ADSL-2 ADSL-2+ уже сейчас находятся «на грани» требований пользователей. При интернет обмене неплохо иметь скорость передачи 1-2 Мбит/с, а для потокового видео со стандартным разрешением (SDTV) – 4...6 Мбит/с (в MPEG-2). При передаче же сигналов HDTV потребуется обеспечение скорости передачи 20 Мбит/с (в MPEG-2) или 9 Мбит/с (в MPEG4).

Что касается применения гибридных волоконно-коаксиальных технологий (HFC), то они достаточно хорошо себя проявили только в сетях кабельного телевидения (КТВ). Использование оптической магистрали в сочетании с распределительной внутридомовой сетью на коаксиальном кабеле успешно используется местными операторами КТВ.[4]

Таким образом, применение оптических решений на сетях доступа становится единственным подходящим способом организации широкополосного фиксированного доступа. Уже сейчас, используя реальные оптические технологии (Passive Optical Network, Active Ethernet, Micro SDH и др.), возможна организация высокоскоростных потоков 1- 2,4 Гбит/с до абонента.

А применение технологий волнового мультиплексирования позволит передавать такие потоки на каждой из нескольких оптических несущих. Причем оптические технологии постоянно совершенствуются и удешевляются.[3]

#### **1.4 Преимущества оптических сетей доступа перед сетями, построенными на основе обычного медного или коаксиального кабеля**

Оптические сети имеют серьезные преимущества перед сетями, построенными на основе обычного медного или коаксиального кабеля. Они обеспечивают гораздо более высокие скорости передачи данных на большие расстояния и при этом абсолютно нечувствительны к электромагнитным помехам и перекрестным наводкам.

Оптические сети можно разделить на два класса – активные и пассивные (PON). Между узлом доступа и оконечным пользовательским оборудованием активной сети имеется какое-нибудь активное оборудование (например, регенератор или коммутатор).

В пассивной сети активное оборудование отсутствует, а значит, ее элементам не требуется электропитание, что значительно снижает расходы на эксплуатацию.

К семейству технологий, обеспечивающих доставку трафика по оптической абонентской сети, использующей технологии, относятся:

- NextGeneration SDH (NG SDH);
- Ethernet overfiber (EoF);
- Passiveopticalnetwork (A-PON/B-PON/E-PON/G-PON), объединяемая понятиемFTTx.

NG SDH и EoF используют каналы на основе двух волоконных соединений (одно на передачу, другое на прием). Эти решения эффективны при четком определении абонентской базы, а также структуры клиентского трафика, так как число волокон в оптическом кабеле ограничено (обычно не более 96), что требует использования активных узлов агрегирования трафика, способных превратить 48 оптических портов кабеля в несколько сотен абонентских окончаний.

Технология PON основана на частотном уплотнении CWDM, позволяющем объединить на разных оптических частотах прямой и обратный каналы в одном и том же оптическом волокне.

Технология PON имеет ряд неоспоримых преимуществ:

- невысокая стоимость построения сети;
- низкие расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание сети;
- возможность постепенного наращивания сети;
- перспективность создания распределительной инфраструктуры, обеспечивающей в будущем развитие любых мультимедийных услуг с практически неограниченной полосой пропускания;
- высокая надежность за счет использования пассивного оборудования.[3]

### 1.4.1 Особенности режимов работы сетей доступа

Интернет-провайдеры, которые не имеют собственные медные сети связи, активно развивают сети класса Ethernet to the home (ЕТТН), при этом оптический кабель используется на магистральных участках, а на участках от абонентского концентратора до квартиры или офиса пользователя используется UTP (симметричная витая пара).

На некоторых участках используются первичные линии связи и сеть кабельной канализации провайдера ТФОП города или села. При невозможности в использовании традиционных ресурсов, провайдерами применяются подвески или прокладка по крышам домов. Для этого используются специальные самонесущие оптические и UTP-кабели.

Данный подход не гарантирует устойчивой сети связи, а следовательно, надежность и готовность к передаче данных. Основное преимущество использования сетей ЕТТН - адресность предоставления услуг связи абонентам. Также к преимуществам можно отнести масштабирование подобных сетей.

Существенным недостатком считается работа сети на уровне Ethernet со всеми используемыми в этом стеке протоколов недостатками [1].

Правильная реализация данной архитектуры сети заключается в эволюции самой технологии по принципу Ethernet to the home (ЕТТН) - Fiberto the building (FTTB) - Fiberto the building (FTTH), а именно в доведении малогабаритного оптического кабеля до здания, квартиры, офиса абонента.

#### Архитектура сетей Ethernet FTTH, PON

Уже в течение долгого времени существует практика построения оптических сетей, но основным подходом для построения таких сетей является применение активного оборудования от узла доступа к абоненту (усилителей, коммутаторов и т. д.), при этом при увеличении количества активных элементов наблюдаются увеличение себестоимости сети и как следствие уменьшение ее надежности.

При использовании архитектуры на базе PON (passive optical network) - пассивной оптической сети для построения сетей FTTH, линия распределяется по абонентам с помощью пассивных оптических разветвителей, коэффициент разветвления которых составляет от 1:4 до 1:128.

Архитектура FTTH в основе которых лежит технология PON, обычно поддерживается протоколом Ethernet. В единичных случаях используется дополнительная длина волны нисходящего потока (downstream), для предоставления пользователям традиционных аналоговых и цифровых телевизионных услуг. При этом нет необходимости в применении телевизионных приставок с поддержкой IP.

В традиционной сети PON используются различные терминаторы оптической сети (optical network termination (ONT)) или устройства оптической сети (optical network unit (ONU)). ONT необходимы для использования отдельными конечными абонентами. В свою очередь устройства ONU



располагаются на цокольных этажах или в подвальных помещениях и используются совместно группой абонентов.[2]

### Стандарты сети PON

Сети PON имеют три различных стандарта. Совокупная скорость передачи данных в нисходящем и восходящем потоках характеризует пропускную способность системы. Учитывая план развертывания, данная скорость может быть разделена между 16, 32, 64 или 128 абонентами.

BPON считается традиционной технологией, еще применяемой в настоящее время некоторыми операторами связи в США, но быстро вытесняемая другими стандартами и технологиями.

Стандарт EPON был разработан для снижения стоимости при использовании технологии Gigabit Ethernet, а стандарт GPON разрабатывался для обеспечения наиболее высоких скоростей передачи данных нисходящего потока и уменьшения накладных расходов и обеспечения возможности передачи трафика ATM и TDM. Но на практике данная возможность используется крайне редко. Как правило, архитектура GPON используется в качестве транспортной платформы Ethernet.

По мнению операторов связи, строящих сеть доступа на основе PON-технологии вместо оптоволоконных сетей с топологией точка - точка (P2P FTTH), существует три основных преимущества, которые, не всегда могут служить критериями выбора.

Наиболее существенное преимущество построения сетей FTTH на основе PON - экономия оптоволоконных линий на участках от оптических разветвителей до центральной АТС, или точки доступа. Провайдер избавится от рытья новых траншей, если у него есть дополнительные оптические пары, место в колодцах. Но доступность оптоволоконной инфраструктуры очень часто переоценивается, что приводит к большему объему земляных работ, чем планировалось.

Все большую популярность имеют сети EPON. Использование воздушных линий значительно уменьшает протяженность оптоволоконного кабеля между столбами. Для экономии можно использовать порты в точке доступа, либо на центральной АТС.

Для примера используем топологию точка – точка. Так как в этой топологии у каждого абонента есть свой выделенный интерфейс, то данное условие приводит к большому скачку стоимости данной технологии по сравнению с технологией, использующей совместные порты для большого количества потребителей. Правда опыт показывает, что выделенные Ethernet-порты могут потеснить порты PON из-за высокой стоимости последних. Низкая стоимость Ethernet портов обусловлена тем, что они используются для корпоративных сетей и сетей провайдеров, а порты GPON в свою очередь могут быть использованы только для данной архитектуры.

При отсутствии новых оптических распределительных стоек, обслуживание большого числа оптоволоконных линий представляется невозможным. В последнее время подобные узлы распространены в Европе на

сетях FTTH, использующих архитектуру точка - точка (P2P FTTH).

Так как PON - широковещательная среда, ряд операторов предполагают, что ее можно использовать для цифрового телевидения, что позволит пользоваться коаксиальной разводкой у абонента для передачи аналогового или цифрового телевизионного сигнала.

Большую популярность получило добавление второй оптоволоконной линии к топологии P2P FTTH точка - точка. Сейчас операторы используют гибридные архитектуры, с топологией точка - точка для всех интерактивных услуг включая IP-телевидение и топологию с наложением дополнительной пассивной оптической сети для распространения IP-телевидения. Данную структуру далее можно использовать для большего числа абонентов, чем при использовании сети PON для оказания интерактивных услуг.

Технология GPON обеспечивает общую пропускную способность нисходящего потока, равную 2,5 Гбит/с, что удовлетворяет потребности абонентов, так как необходимость в больших пропускных способностях растет экспоненциально.

Некоторую часть полосы пропускания необходимо использовать для резервирования потоковых услуг (например, IPTV), что приведет к уменьшению общей полосы пропускания. PON является технологией с общей средой передачи. Т.е. возникает необходимость в шифровании всех потоков данных, передаваемых в PON [2].

В технологии GPON организовано шифрование только нисходящего потока, а использование надежного усовершенствованного стандарта шифрования (advanced encryption standard (AES)) с 256-разрядными ключами позволяет повысить безопасность личной информации конечных пользователей и предоставляет провайдерам возможность предотвратить хищение услуг.

Обеспечение надежности за счет использования стандарта AES приводит к снижению производительности. Для шифрования необходима передача существенного объема служебной информации вместе с каждым пакетом, что может привести к значительному уменьшению полезной скорости передачи данных в PON.

Коммерческие организации, предъявляющие повышенные требования к конфиденциальности (например, финансовые учреждения), обычно категорически отвергают возможность подключения к любой общественной передающей среде даже при наличии шифрования канала связи, поскольку не существует гарантии сохранения секретности кода [3].

Вследствие использования общей передающей среды в пассивных оптических сетях PON каждое оконечное устройство (ONT или OLT) вынуждено работать со скоростью, равной совокупной скорости передачи данных. Даже если клиент заплатил только за 25 Мбит/с, каждая конечная точка оптической сети (ONT) в этом дереве PON должна работать со скоростью, равной 2,5 Гбит/с (GPON).[2]

Работа электронных и оптических устройств со скоростью, в 100 раз

превышающей необходимую скорость передачи данных, обуславливает увеличение цены компонентов, особенно если объемы производства не очень велики.

Для данной архитектуры необходима большая мощность лазера, поскольку энергетический потенциал линии связи уменьшается на 3,4 дБ при каждом разветвлении в соотношении 1:2.

Следовательно, при разветвлении в соотношении 1:64 энергетический потенциал линии связи уменьшается на 20,4 дБ (что эквивалентно отношению мощностей, равному 110). Таким образом, в данной модели все оптические передатчики в архитектуре PON должны обеспечивать мощность оптического сигнала, в 110 раз большую по сравнению с архитектурой FTTH точка-точка при передаче на то же расстояние.

Отделение абонентских линий (localloop unbundling (LLU)) - метод, в настоящее время применяемый за рубежом в обязательном порядке в сетях операторов телефонии для обеспечения доступа альтернативным операторам к абонентским медным линиям связи. Такой подход позволил значительно увеличить предложение на рынке услуг DSL и снизить цены на услуги широкополосного доступа для абонентов за счет конкуренции провайдеров.

Сети PON пока не удовлетворяют требованиям LLU, поскольку для подключения группы абонентов имеется лишь одна оптоволоконная линия, которая может быть разделена только на логическом, но не на физическом уровне. Эта особенность пассивной оптической сети на базе PON предполагает массовую продажу услуг основного оператора без предоставления прямого абонентского доступа посредством отделения абонентских линий (LLU).

В Европе большинство новых сетей FTTH предполагают различные формы отделения абонентских линий, что открывает новые возможности для бизнеса, хотя и не является обязательным для исполнения требованием регулятора.

Теоретически можно повысить гибкость переключения клиентов между оптическими разветвителями PON за счет комбинирования разветвителя с оптическим кроссом в распределительном шкафу участка. Эта функция используется в том случае, когда трудно предсказать процент подписки абонентов на сервисы, например при очень большой застройке, и необходимо выполнять требования отделения абонентских линий.

В этом случае распределительный шкаф участка содержит разветвитель обслуживаемого сервис-провайдера и соответствующие линии передачи, идущие к точке присутствия. Однако такая гибкость приводит к увеличению затрат на поддержку оптического распределительного узла на участке и текущих расходов. При каждом переключении абонента потребуются услуги специалиста для коммутации оптоволоконных линий в каждой точке доступа.

Обычно при развертывании сети FTTH выполняется одновременное подключение оптоволоконных линий связи для всех потенциальных абонентов в данном районе. [3]

В случае пассивной оптической сети эти оптоволоконные линии затем подключаются к разветвителям и стягиваются фидерным оптическим кабелем к центральной АТС или точке доступа. Абоненты могут подписаться на сервис FTTH только после развертывания всех оптоволоконных линий.

При развертывании услуг для частных абонентов провайдеры редко достигают 100 %-й подписки. Обычно этот показатель близок к 30 %. Это означает, что структура PON-сети используется не оптимально, а стоимость оборудования OLT для каждого абонента значительно возрастает. Одним из решений этой проблемы является использование удаленных оптических распределительных узлов, что предполагает дополнительные затраты, которые обычно не компенсируются улучшением загрузки пассивной оптической сети PON [3].

Пассивные оптические разветвители не могут передавать информацию о неисправностях в центр управления сетью. Поэтому с помощью обычного оптического временного рефлектометра (OTDR) очень сложно обнаружить неисправность оптоволоконной линии между разветвителем и точкой терминирования оптической сети (ONT) абонента. Это значительно усложняет поиск и устранение неисправностей в сетях PON и повышает затраты на их эксплуатацию.

При повреждении точки терминирования оптической сети (ONT) она может передавать в дерево оптоволоконных линий постоянный световой сигнал, что приводит к нарушению связи для всех абонентов этой пассивной оптической сети, причем найти поврежденное устройство очень сложно.

Даже, если удастся предотвратить такое повреждение с помощью какой-либо схемы защиты, эта проблема может возникнуть вследствие действий злоумышленника, который может прервать работу всей системы связи в дереве путем передачи в него непрерывного светового сигнала.

Оборудование технологии PON периодически нуждается в обновлении за счет использования новой технологии, которая обеспечивает большую полосу пропускания. Организации IEEE и ITU-T работают над стандартизацией требований для пассивных оптических сетей следующего поколения со скоростью передачи данных 10 Гбит/с PON. Вероятнее всего, эти решения не будут обратно совместимы с существующими технологиями PON (GPON или EPON).

В таком случае возможны два направления от одной технологии PON к другой:

а) полностью вывести из сервиса оптическое дерево, заменить все оконечные устройства, а затем вернуть структуру в эксплуатацию. Поскольку точки терминирования оптической сети (ONT) обычно расположены на территории абонента, к которой у сервис-провайдера нет прямого доступа, этот процесс миграции может вызвать организационные проблемы и стать весьма трудоемким;

б) использовать уплотнение с разделением по длине волны, чтобы реализовать новую технологию PON с помощью тех же оптоволоконных

линий, но на другой длине волны.

Современные приемники PON не используют избирательность по длинам волн, поэтому перед началом работ необходимо на всех оконечных устройствах установить фильтры длины волны.

В типовых конфигурациях сетей доступа Ethernet FTTH применяются недорогие одноволоконные линии, использующие технологию 100BX или 1000BX с заданным максимальным радиусом действия 10 км.

Для работы на больших расстояниях имеются оптические модули, позволяющие увеличить мощность оптического сигнала, а также оптоволоконные пары с оптическими модулями, которые можно подключить к порту любого Ethernet-оборудования.

Обычно использовать порты на коммутаторе доступа Ethernet FTTH могут только абоненты, оформившие подписку у провайдера. В случае появления новых абонентов можно добавить дополнительные линейные карты Ethernet с высокой степенью модульности. Напротив, при использовании архитектуры на базе PON подключение первого абонента к оптическому дереву требует наличия наиболее дорогостоящего порта OLT, а при добавлении абонентов к тому же дереву PON стоимость подключения каждого абонента увеличивается за счет приобретения ONT.

Таким образом, текущие конфигурации Ethernet FTTH могут использовать технологию Gigabit Ethernet, которая может стать неактуальной в течение последующих 30-40 лет. Однако одномодовая оптоволоконная линия является средой, способной поддерживать любую новую технологию передачи.

Более того, в отдельных случаях для подключения корпоративных абонентов используются оптоволоконные технологии, например SONET/SDH или FibreChannel. Эти технологии могут быть легко развернуты по тем же оптоволоконным линиям, что и Ethernet FTTH, а во многих случаях - с использованием той же Ethernet-платформы агрегирования.

Поскольку одномодовые оптоволоконные линии не зависят от используемой технологии и скорости передачи данных, нетрудно увеличить скорость для одного абонента, не оказывая влияния на работу других.

Это означает, например, что абонент, использующий в настоящее время технологию Fast Ethernet, в следующем году может перейти на Gigabit Ethernet за счет простого переключения оптоволоконной линии абонента на другой порт коммутатора и замены только Ethernet-устройства в помещении абонента. Это изменение не повлияет на работу остальных абонентов сетей доступа Ethernet FTTH.

На сегодняшний день выделенная оптоволоконная линия является наиболее защищенной средой (на физическом уровне), особенно по сравнению с общими передающими средами.

Кроме того, коммутаторы Ethernet, используемые в средах сервис-провайдеров, должны обеспечить разделение физического уровня портов и логического уровня абонентов, при этом они имеют большое количество



надежных функций защиты, способных предотвратить практически все попытки вторжений.

Архитектура Ethernet FTTH предполагает использование на территории абонента простых устройств подключения к сети (customerpremiseequipment (CPE)), обладающих достаточной функциональностью для обеспечения связи с сетью доступа и доставки всего спектра услуг каждому абоненту. Эти устройства Ethernet CPE стоят очень недорого и обычно размещаются в квартирах или домах абонентов.[4]

Для провайдеров, рассматривающих возможность развертывания сетей FTTH, большое значение имеют затраты на эксплуатацию наряду с капитальными затратами на приобретение и развертывание оптоволоконных линий и оборудования.

В настоящее время отсутствует достаточное количество данных для непосредственного сравнения архитектур по этому параметру, однако очевидно, что затраты на эксплуатацию сетей Ethernet FTTH в топологии точка-точка ниже затрат на эксплуатацию сетей с архитектурой PON FTTH.

Большое влияние на работу подобной сети оказывает обрыв кабеля вследствие строительных работ. При эксплуатации сети Ethernet наихудшим вариантом является обрыв большого кабеля с несколькими сотнями оптоволоконных линий вблизи точки доступа или АТС.

В подобных случаях для восстановления кабеля потребуется значительно больше времени, чем для восстановления кабеля, передающего трафик PON, поскольку в нем значительно меньше линий. Такая ситуация характерна и для используемых в настоящее время медных сетей, которые также имеют топологию точка-точка. Подобные аварийные ситуации возникают очень редко.

Кроме того, опасность их возникновения можно уменьшить, распределив трафик по большему числу кабелей меньшего размера, которые могут быть размещены на большей площади. Таким образом, при повреждении одного кабеля пострадает относительно небольшое число абонентов.

Необходимо определить также соотношение оптоволоконных кабелей, составляющих передающую часть, и кабелей, образующих кабельную инфраструктуру на границе с абонентом. В большинстве конфигураций граничная часть распределена по очень большой площади, что обуславливает большую вероятность повреждения кабеля.

С точки зрения топологии в этой части сети доступа существенное различие между архитектурами отсутствует. Однако поиск и устранение неисправностей в этой зоне представляет большую сложность для архитектуры на базе пассивной оптической сети PON, поскольку измерения с использованием оптического временного рефлектометра в сети PON затруднены вследствие присутствия оптических разветвителей [4].

### 1.4.2 Архитектурные особенности оптических сетей доступа

В зависимости от степени приближения OLT к абоненту, ITU-T (Сектор стандартизации Международного Союза Электросвязи) выделяет несколько вариантов построения сети PON (рисунок 1.7).

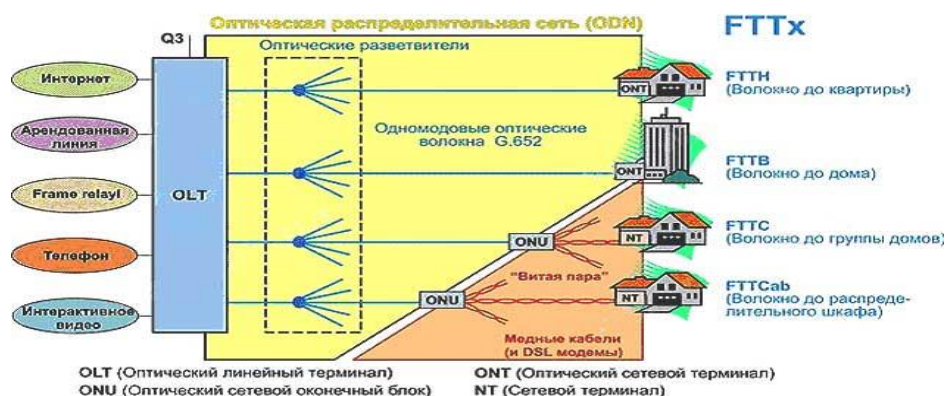


Рисунок 1.7 - Архитектура построения сетей оптического доступа

Из рисунка 1.7 видно, что при построении сети, используя технология FTTx (Fiber to the ...) существуют участки с распределительными медными кабелями. Чем меньше длина кабеля, тем больше пропускная способность системы. Как правило, для лучшей пропускной способности, при построении оптической сети с использованием FTTH, лучше ставить OLT в квартале абонентов, для того чтобы длина медных кабелей была наименьшей.

В зависимости от плотности абонентов, расположения видов предоставляемых услуг, выбирается необходимая технология и архитектура сети. Так для многоэтажных зданий используется технология FTTB, а например, для частных застроек или офисов, в зависимости от финансового состояния плательщика, применяется технология FTTC или FTTH.

АТС, содержащаяся в сетевом узле, обслуживает участок, который зависит от зоны охватываемой пассивной оптической сетью. На сетевом узле находятся терминал оптической линии – OLT, необходимый для связи абонентов с Интернетом и другими медиа контентом, включающие в себя передачу голоса, видео и др.

Входные порты PON оборудования OLT подключаются к оптическому кроссу ODFOLT с помощью оптических шнуров (патч-кордов) или оконцованных микрокабелей (предтерминированных кабелей).

На оптическом кроссе осуществляется распределение кабелей по направлениям, перекрестировка (коммутация) и соединение линейного со стационарным оптическим кабелем через сплайс-пластины (кассеты и боксы для сварных соединений). Как правило, оптический кросс располагается в том же помещении АТС (ЛАЦ, кросс), где и размещается стойка с OLT.

Магистральное распределение волокон осуществляется на участке сети от OLT до ОРШ. Через сплиттеры осуществляется связь на участке сети между ОРШ и ONT. Сплиттеры устанавливаются в ОРК или ОРШ.[3]

Возможно два варианта подключения разветвителей. Однокаскадное включение, т.е. подключение разветвителей друг за другом без сплиттеров. Многокаскадное подключение – подключение разветвителей с использованием сплиттеров. В зависимости от затухания, которое вносят разветвители, полосы пропускания, коэффициента ветвления выбирается количество каскадных уровней. При меньшем количестве каскадных уровней, упрощается сама сеть доступа, улучшается качество передаваемой информации, сокращается время нахождения и устранения неисправности на сети. Это связано с уменьшением количества разветвителей, которые вносят дополнительные искажения в передаваемую информацию. Но тем не менее, каскадирование улучшает гибкость сети, помогает оптимизировать проектируемую сеть.

В составе абонентского узла ONT (ONT(ONU)— Optical Network Terminal (Unit)) имеется входной оптический интерфейс сети PON. ONT (ONU) могут иметь различные выходные интерфейсы: FXS, FXO, 10/100/1000 Base-T, E1, BRI, RF.

За счет указанных интерфейсов абонентских терминалов, технологий и ресурсов полосы пропускания появляется возможность использования сети PON и для подключения различных ведомственных сетей и корпоративных клиентов.

#### **1.4 .3 Технологические характеристики оптических сетей доступа**

В оптических сетях, как правило, применяются топологии «точка–точка» или «точка–много точек» («звезда»). Такая топология достаточно проста при проектировании и техническом обслуживании сети, позволяет ограничивать или наращивать скорость передачи информации до каждого пользователя.

У технологии активных оптических сетей Ethernet есть ряд серьезных недостатков. Например, большие затраты на активное оборудование достаточно велики и его установка требует обеспечения гарантированного электропитания. В оптических кабелях используется большое количество волокон, как следствие значительны затраты на строительно-монтажные работы и измерения.

Построения сетей доступа на практике показала, что оптический Ethernet наиболее эффективен по схеме FTTB (точнее, «волокно до подъезда») при новом строительстве, при хорошей кабельной инфраструктуре, когда нет необходимости сильно экономить волокна и если есть возможность размещения и организации электропитания активного оборудования.[3]

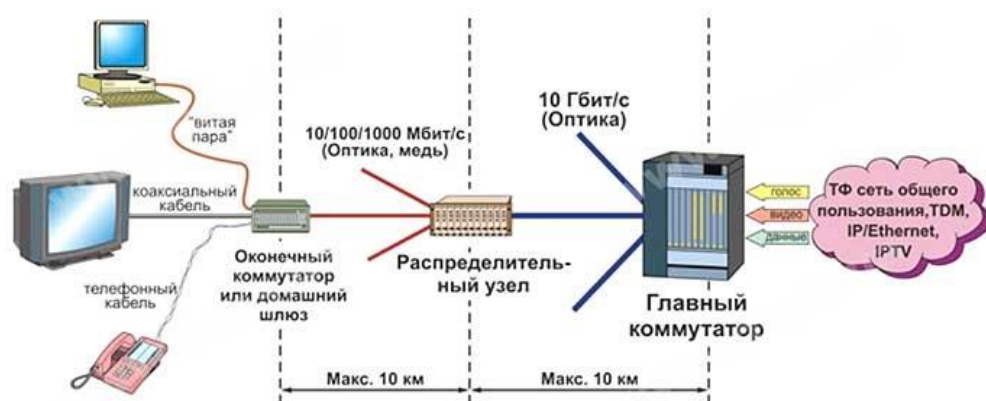


Рисунок 1.8 – Организация оптической сети

За последние годы все большую популярность получает технология для сетей доступа - PON (Passive Optical Network). Ее основная идея заключена в построении сети доступа с большой пропускной способностью при минимальных инвестициях. Данное решение предполагает создание разветвленной сети (преимущественно древовидной топологии) на пассивных оптических разветвителях, т.е. без использования активных компонентов. Информация для всех абонентов передается одновременно с временным разделением каналов от головной станции – оптического линейного терминала (OLT, Optical Line Terminal) - до оконечных оптических сетевых блоков (ONU, Optical Network Unit).

Как правило, передача и прием производятся на разных длинах волн по одному оптическому волокну. От абонента к станции (прямой поток) используется длина волны 1310 нм, а от станции к абоненту (обратный поток) – 1490 нм или 1550 нм. Оптическая мощность с выхода OLT в узлах сети делится (равномерно или неравномерно) так, чтобы уровень сигнала на входе всех ONU был приблизительно одинаковым. Очень часто одна из длин волн (как правило 1550 нм) выделяется для передачи всем абонентам телевизионного сигнала.

Для этого на станции устанавливается оптический мультиплексор WDM для объединения передаваемых сигналов 1310 нм (голос, данные) и 1550 нм (видео). Всего возможно подключение до 32 (в некоторых разновидностях – до 64) абонентов при максимальной дальности связи – до 20 км. Схема сети PON указана на рисунке 1.9[4]

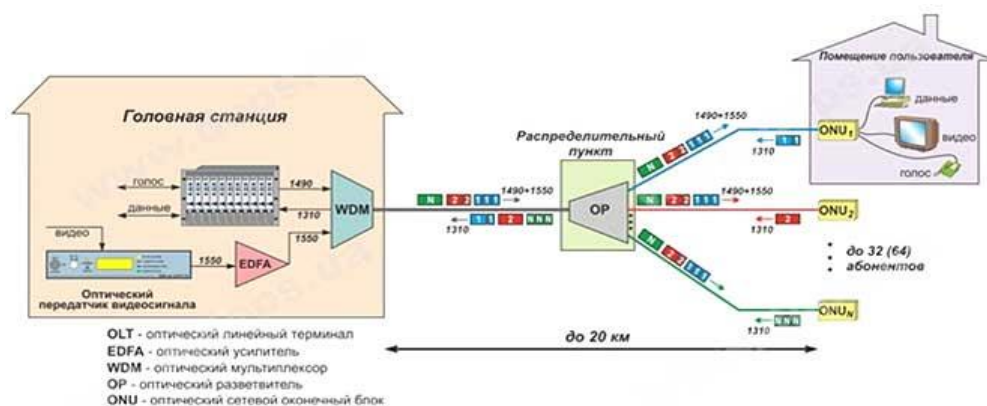


Рисунок 1.9 – Схема сети PON

Прямой поток содержит данные для всех ONU одновременно, но при этом каждое оконечное устройство выделяет информацию только для своего терминала. В обратном потоке каждое ONU передает информацию в свой определенный момент времени, и после объединения общий поток содержит сигналы от всех пользователей [4].

Технология PON в абонентских сетях доступа имеет следующие преимущества:

- экономия волокон в абонентских оптических кабелях;
- значительная экономия оптических излучателей на головной станции;
- возможность предоставления трех видов информации (согласно концепции TriplePlay) – голоса, видео и данных;
- отсутствует необходимость электропитания сетевых элементов (кроме оконечных);
- небольшие затраты на обслуживание;
- простая возможность подключения абонентов (даже без перерыва связи);
- возможность динамического расширения полосы – увеличение скорости передачи работающих абонентов за счет неработающих в данный момент;
- дальнейшее увеличение скорости передачи (до 10 Гбит/с) и выше без замены оборудования линейного тракта (оптические кабели, разветвители, соединители);
- последующая возможность значительного увеличения скорости передачи для каждого пользователя за счет применения технологии оптического мультиплексирования (CWDM или DWDM).

Сегодня PON - наиболее динамично развивающаяся оптическая сетевая технология. Ежегодно растет общее количество PON-абонентов на 30-40% в экономически развитых странах. Единственным серьезным фактором, который сдерживает массовое внедрение PON - стоимость активного абонентского оборудования, особенно при схеме FTTH. Можно порекомендовать строительство сетей PON по схеме FTTB для многоэтажной городской застройки или FTTH для частного сектора, коттеджных городков и офисных центров.[5]

#### 1.4.4 Типовая структура PON-сети

Классическая сеть PON состоит из следующих элементов:

- центрального станционного устройства OLT (Optical Line Terminal), которое служит для агрегации потоков оптических сетей (деревьев);
- распределительной оптической сети ODN (Optical Distribution Network), состоящей из:
  - магистрального оптического фидера (волокна);
  - сплиттеров, разветвляющих оптический сигнал на ветви оптического дерева;
  - распределяющих оптических волокон (ветвей) дерева PON-сети;
  - оконечных отводных абонентских кабелей (Drop-окончаний), которые в зависимости от типа оконечного абонентского устройства и количества каскадов сплиттеров на сети могут быть оптическим волокном, кабелями Ethernet, xDSL, E1;
- оконечных абонентских устройств ONU (Optical Network Unit) или ONT (Optical Network Terminal), которые в зависимости от их типа могут устанавливаться в распределительном шкафу, в здании, в помещении абонента и предоставляют конечным абонентам различные порты доступа в зависимости от типа и модели устройства: Ethernet, иногда VDSL – основной вид порта, дополнительно - кабельного телевидения, подключения телефона, E1; системы управления сетью AMS (Access Management System), которая служит для управления и мониторинга оборудованием PON.[5]
- возможность оказания услуг TriplePlay с предоставлением видео по любой модели: в виде услуг кабельного телевидения (рисунок 1.10) или в виде услуг IPTV (рисунок 1.11).

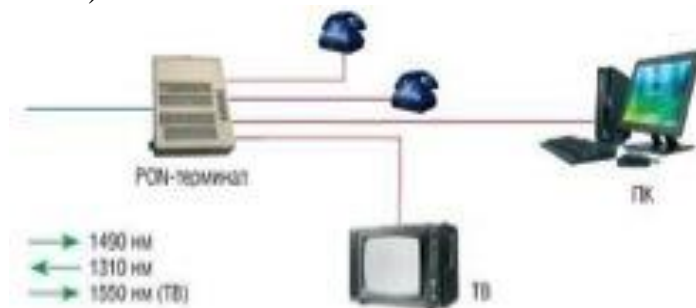


Рисунок 1.10- Предоставление услуг кабельного видео

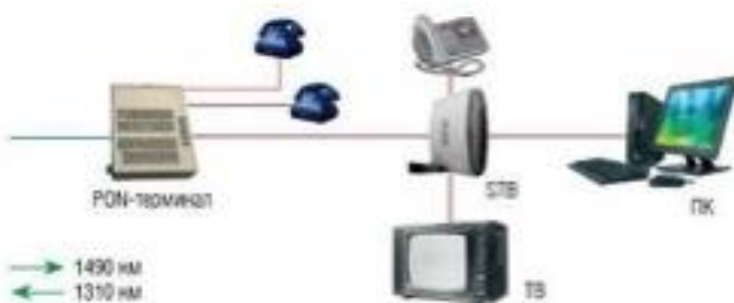


Рисунок 1.11 - Предоставление IPTV



## **1.5 Исследование модели инфокоммуникационной системы**

На рисунке 1.11 приведена модель инфокоммуникационной системы, предложенная международным союзом электросвязи (МСЭ-Т) в рекомендациях серии Y. Эта модель позволяет однозначно определить место сети доступа в инфокоммуникационной системе.

Примером оборудования в помещении абонента может быть как обычный телефонный аппарат (квартирный сектор), так и сложный комплекс аппаратно-программных средств – учрежденческая АТС (УАТС), локальная сеть Ethernet и другое оборудование (производственный сектор). В первом случае функции сети доступа может выполнять абонентская линия, представляющая собой двухпроводную физическую цепь. Во втором случае в состав сети доступа (для существующей системы электросвязи) должны входить:

- цифровой тракт E1 (или несколько таких трактов) для подключения УАТС к местной телефонной сети;

- цифровой тракт, поддерживающий стек протоколов TCP/IP, для подключения локальной сети к Internet;

- арендуемые линии, если они необходимы для подключения того оборудования, которое не использует телефонную сеть или Internet.

Таким образом, оператор должен так развивать сеть, чтобы обеспечить предоставление традиционных услуг телефонии и эффективно вводить новые виды услуг. Эти услуги часто подразумевают использование технологий, отличающихся от традиционной "коммутации каналов". Именно для таких сетей в НТЦ «ПРОТЕЙ» (Россия) разработан мультисервисный абонентский концентратор (МАК). Он позволяет реализовать мультисервисный доступ, как к телефонным сетям, так и к сетям передачи данных с коммутацией пакетов. В телефонных сетях общего пользования (ТфОП) оборудование МАК подключается к опорным цифровым АТС на основе стандартного интерфейса V5.2 по трактам E1 (рекомендация ITU-T G.703) со скоростью передачи 2048 Кбит/с. Его подключение к IP-сети осуществляется по стандартному интерфейсу Ethernet 100 Base -T.[5]

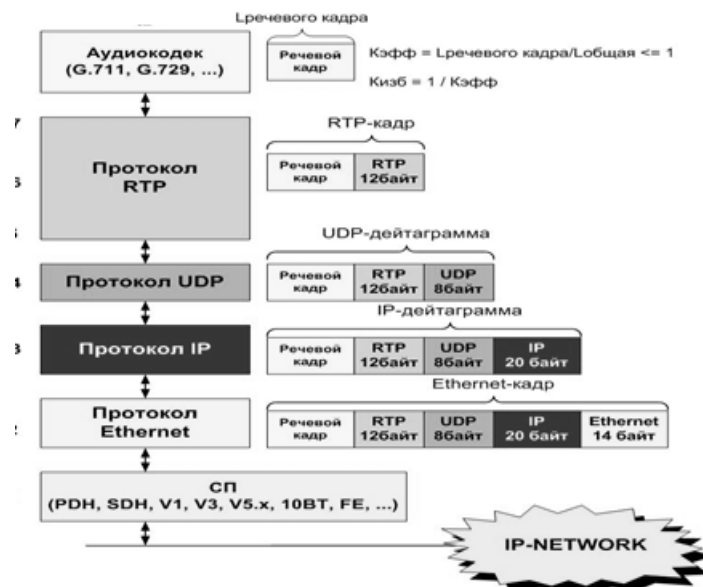


Рисунок 1.12-Протоколы, обеспечивающие доставку речевой информации в IP-сети

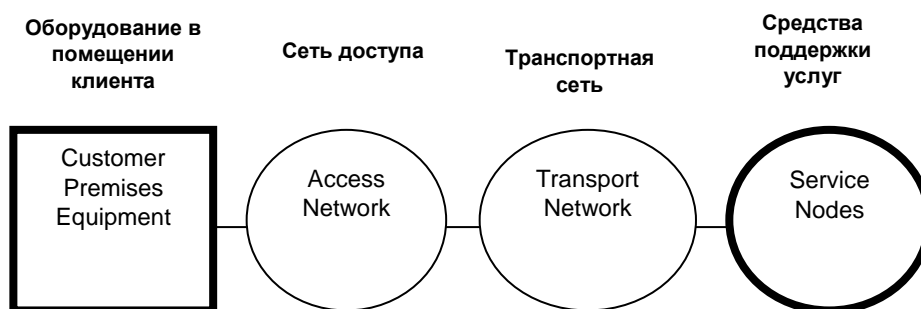


Рисунок 1.13- Модель инфокоммуникационной системы, предложенная ИТУ-Т, предложенная международным союзом электросвязи (МСЭ-Т) в рекомендациях серии Y, позволяющая однозначно определить место сети доступа в инфокоммуникационной системе

Мультисервисный абонентский концентратор ПРОТЕЙ-МАК обеспечивает возможность постепенного перехода к NGN.

Softswitch – программный коммутатор (специально создавался для обоих типов сетей – ТфОП и IP, в каждой из них это оборудование будет восприниматься по-разному:

- для работы в ТфОП Softswitch должен выполнять функции пункта сигнализации ОКС № 7 и иметь интерфейсы для поддержки других систем сигнализации ТфОП (EDSS1, 2ВСК, R2 и др.);

- в сети с коммутацией пакетов Softswitch выступает в качестве единого устройства управления транспортными шлюзами (Media Gateway Controller,

MGC) и/или контроллера сигнализации (Signaling Controller, SC), диспетчера H.323 и серверов SIP (Signaling Initial Protocol));

SHDSL (High-bit-rate Digital Subscriber Line) – четырехпроводная высокоскоростная цифровая абонентская линия, по которой обеспечивается передача потока со скоростью 2,048 Мбит/с (E1) с использованием кодирования типа 2B1Q (рекомендация ANSI);

IAD (Integrated Access Device) – интегрированное устройство доступа;

WMA (Wireless Multiple Access) – оборудование беспроводного множественного доступа.[5]

Оборудование WMA на стороне концентратора должно подключаться по стандартному тракту E1 или через абонентские комплекты.

Оборудование МАК позволяет подключать обслуживаемых пользователей к нескольким сетям. Типичное требование (на начальном этапе формирования NGN) состоит в том, что потоки информации должны направляться в две сети. Во-первых, по интерфейсу V5.2 через опорную АТС осуществляется доступ к ТФОП. Для этого между МАК и АТС может быть организовано несколько трактов E1. Во-вторых, должен быть реализован доступ к пакетной сети с использованием технологии Ethernet. На рисунке показан маршрутизатор (IP Router), который обеспечивает обслуживание потоков пакетов IP.

Для поддержки некоторых видов инфокоммуникационных услуг может понадобиться взаимодействие с программным коммутатором (Softswitch). Эти функции могут быть реализованы при применении протокола MGCP (Media Gateway Control Protocol), который предназначен для управления медиашлюзом. Он разработан для архитектуры, в которой вся логика обработки вызовов располагается вне шлюзов и управление выполняется внешними устройствами, такими, как контроллеры медиашлюзов (Media Gateway Control, MGC) или агентами вызовов. Модель вызовов MGCP рассматривает медиашлюзы как набор конечных точек, которые можно соединить друг с другом.

Технология физического уровня Fast Ethernet 100Base-T со скоростью 100 Мбит/с используется в локальных сетях ЭВМ. Термин Base указывает на прямую (немодулированную) передачу. Признак T указывает на использование витой пары (Twisted pair).

Термин «Softswitch» в его широком смысле используется для описания коммуникационных систем нового поколения, основанных на открытых стандартах и позволяющих строить мультисервисные сети с выделенным «интеллектом», интегрирующим все виды телекоммуникационных услуг. Такие сети обеспечивают эффективную передачу речи, видео и данных и обладают большим потенциалом для развертывания дополнительных услуг, чем традиционные телефонные сети. Таким образом, под термином Softswitch понимают и устройство, и технологию, обеспечивающую решение задачи создания мультисервисных сетей.

Мультисервисный коммутатор доступа является ядром мультисервисной сети доступа и выполняет следующие функции:

- управление оборудованием доступа – мультисервисными абонентскими концентраторами;

- маршрутизация вызовов по номеру абонента ТфОП, номеру направления, IP-адресу;

- предоставление ДВО.

Основная идея, реализуемая аппаратно-программными средствами Softswitch (рисунок 1.14), состоит в том, что между логическими уровнями (в модели NGN) необходимо применять только *открытые протоколы*, которые позволяют легко адаптировать выполняемые функции при формировании новых требований со стороны клиентов, системы тарификации и других компонентов инфокоммуникационной системы.

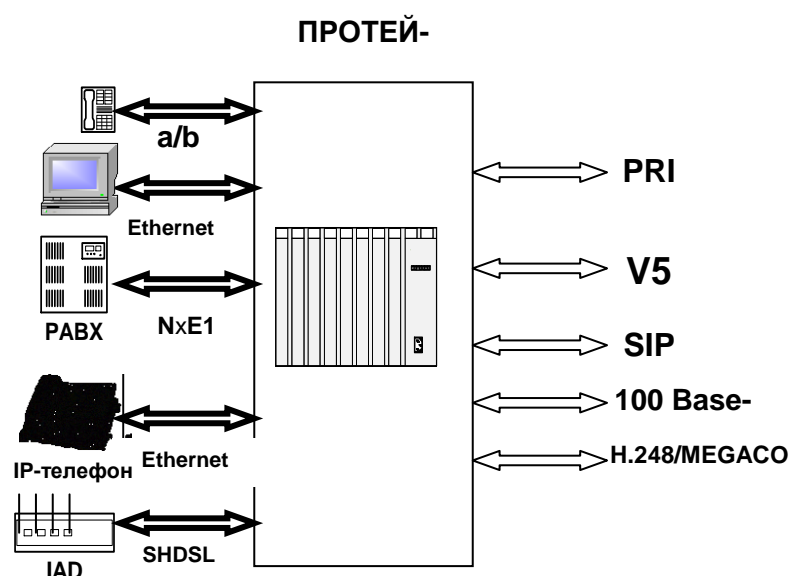


Рисунок 1.14- Протоколы и оборудование

Особенность коммутационных станций ССОП состоит в том, что они имеют стандартные интерфейсы на входе и выходе. Практически все внутренние процессы в коммутационной станции, как в «черном ящике», поддерживались фирменными протоколами, разработка которых осуществлялась изготовителем соответствующего оборудования.

В мультисервисной сети нового поколения (NGN) должен использоваться ряд новых элементов, которых не было в телекоммуникационной системе 20-го века. Качественно новым видом аппаратно-программных средств, используемых в NGN, является Softswitch.

В настоящее время все ведущие изготовители телекоммуникационного оборудования уже выпускают оборудование класса Softswitch или заканчивают его разработку. Основные решения практически всех поставщиков, применительно к реализации Softswitch, совпадают.

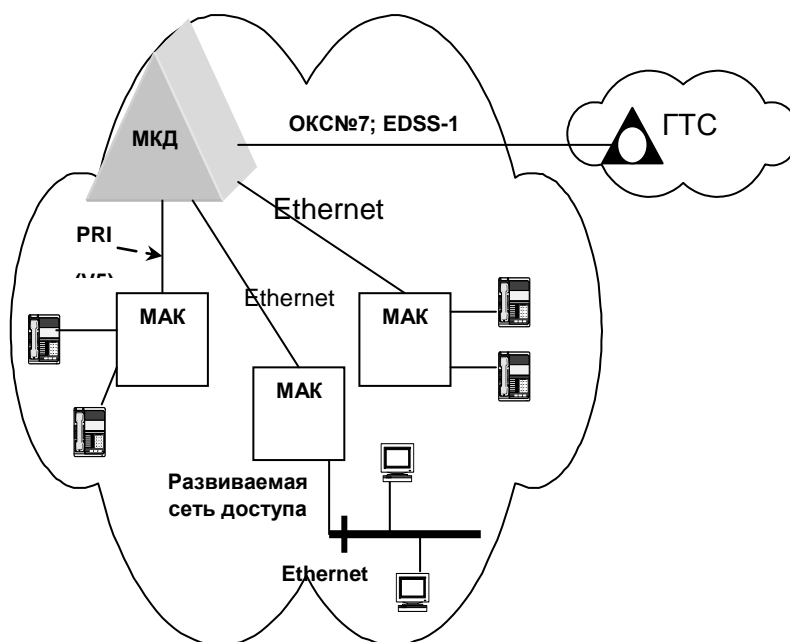


Рисунок 1.15- Пример мультисервисной сети доступа, развиваемой с помощью оборудования НТЦ ПРОТЕЙ

Оборудование создается только на платформах, характеризующихся высоким показателем готовности. Широко используется дублирование основных элементов системы. Число обслуживаемых попыток вызовов в час наибольшей нагрузки (ЧНН) составляет несколько миллионов. Обязательно поддерживается сигнализация по протоколу ОКС № 7.

Одна из важнейших функций Softswitch – поддержка услуг IP-телефонии. Оборудование Softswitch всех поставщиков взаимодействует по наиболее распространенному протоколу RADIUS.

Оборудование Softswitch взаимодействует со многими компонентами в телекоммуникационной системе. В верхней части рисунка показаны подсистемы: тарификации, платформа услуг и приложений, а также сеть передачи данных по протоколу ОКС № 7. Необходимость взаимодействия Softswitch с этими подсистемами очевидна. Следует только отметить возможность обмена через сеть ОКС № 7 с узлом управления услугами (Services Control Point, SCP), входящим в состав интеллектуальной сети (ИС). Эта возможность позволяет дополнить услуги и приложения, доступные абонентам непосредственно через Softswitch, теми видами обслуживания, которые присущи ИС.[6]

Логика обработки вызовов реализуется контроллерами шлюзов (Media Gateway Controller, MGC). Взаимодействие Softswitch с коммутационными станциями других сетей (в первую очередь, с ССОП) осуществляется через оборудование Media Gateway (MG). Для этих целей используется протокол

MGCP (Media Gateway Control Protocol), разработка которого была выполнена IETF (Инженерная группа по проблемам Internet). Группа, которая предложила этот протокол, именуется Megaco (Media Gateway Control). Поэтому протокол иногда называют по имени группы – Megaco.

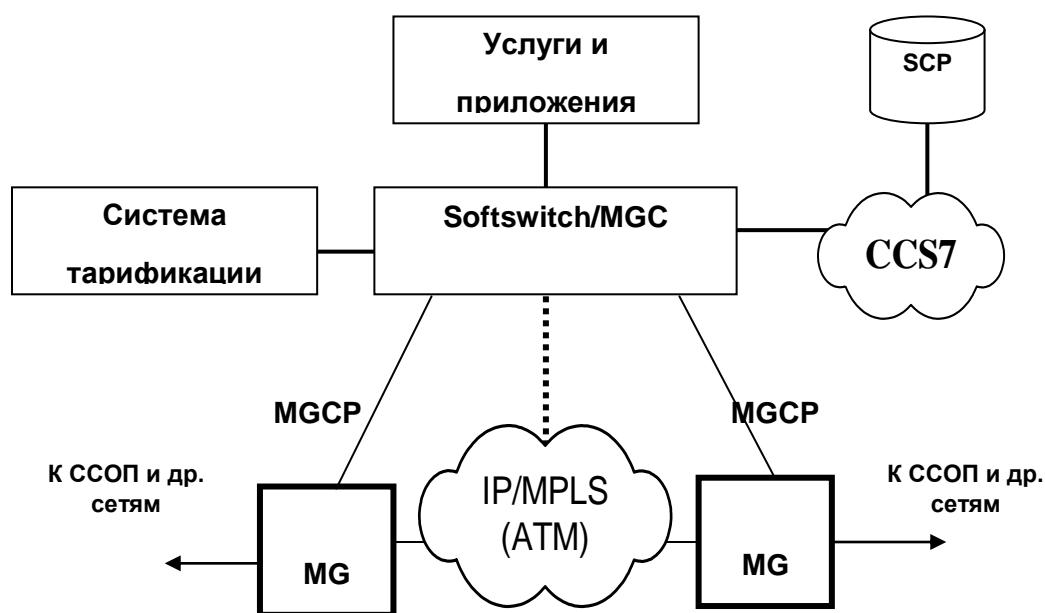


Рисунок 1.16 Модель сети, построенной на базе оборудования класса Softswitch

Протокол MGCP был разработан IETF и ориентирован, в основном, на IP технологии. В настоящее время МСЭ-Т разработан протокол H.248 для управления медиашлюзами. Пунктирной линией на рисунке 10.8 показана связь Softswitch по управлению с транспортной пакетной сетью, которая, как правило, базируется на технологиях IP/MPLS, IP/GE, ATM. Пакетная сеть будет обеспечивать доставку основной части потоков данных телекоммуникационной системы.

Среди проблем, с которыми сталкиваются практически все операторы телекоммуникационных сетей, следует подчеркнуть сложность выбора сценария для дальнейшего развития сети доступа. Такое положение обусловлено множеством факторов, но доминантой можно считать сложность прогнозирования спроса на рынке инфокоммуникационных услуг. Поэтому для оператора телекоммуникационной сети большой практический интерес представляют такие системно-сетевые решения, которые с минимальными затратами могут изменяться в зависимости от требований рынка. Этим условиям отвечают аппаратно-программные средства, подобные МАК-ПРОТЕЙ. Они не диктуют оператору выбор технологий и не сдерживают процессы ввода новых видов услуг.

## 1.6 Различные технологии передачи информации

Для предоставления услуг связи абоненту используется технология WDM (Wavelength Division Multiplexing). Данная технология ведет



передачу сигналов к абоненту и от абонента на различных длинах волн (1490нм и 1310нм соответственно). Некоторые типы ONU/ONT, имеющие отдельный выход для телевизионного видеосигнала, могут «подмешивать» в оптическое волокно телевизионного видеосигнала кабельного телевидения на отдельной длине волны 1550 нм [5].

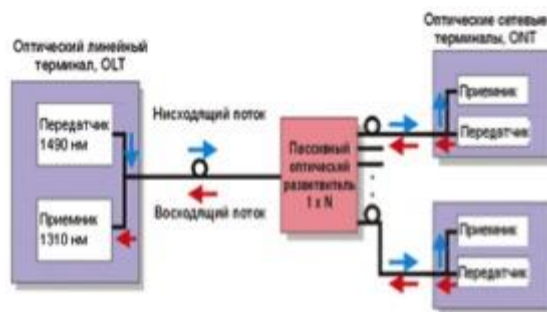


Рисунок.1.17 - Общая структура работы PON-сети

Технология временного разделения каналов для каждой длины волны используется для обоих направлений передачи как от абонента, так и к абоненту. Описание этих технологий представлено на рисунках 1.17 и 1.18

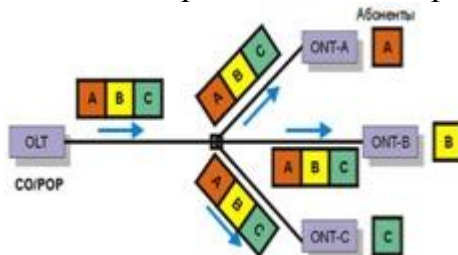


Рисунок 1.17 - Передача информации по направлению к абоненту.

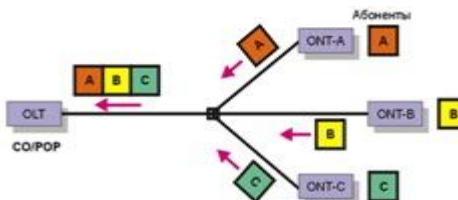


Рисунок 1.18 - Передача информации по направлению от абонента.

В вышеуказанных случаях всем абонентам выделяется равная фиксированная гарантированная полоса пропускания канала связи в каждом направлении. Здесь необходимо отметить, что в настоящее время используются в основном 2 стандарта PON-сетей:

- GPON (Gigabit PON), транспортный протокол GFP (generic framing protocol). Нисходящий поток - 1490 нм, 2,4 Гбит/с, восходящий поток - 1310 нм, 1,2 Гбит/с;

- GERON (PON), транспортный протокол - Ethernet. Нисходящий поток - 1490 нм, 1,2 Гбит/с, восходящий поток - 1310 нм, 1,2 Гбит/с;

Однако бывают случаи, когда:

- часть абонентов, не осуществляет в текущий момент прием/передачу информации или отключены (не пользуются услугами связи), в результате имеется «простой» полосы канала связи;
- различным абонентам требуется различная полоса пропускания канала связи;
- некоторым абонентам временно требуется повышенная полоса пропускания канала связи.

На рисунке 1.19 представлены варианты технологий FTTx, которые зависят от расположения ONT (ONU) относительно места проживания пользователя.[7]

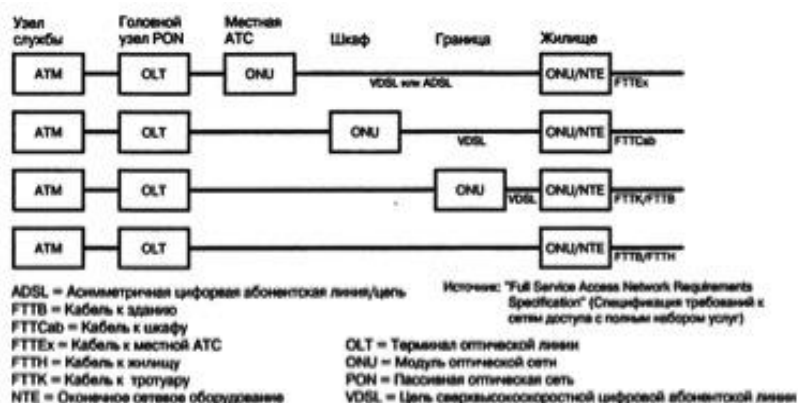


Рисунок 1.19- Описание технологий FTTx

В таблице 1.2 представлены параметры различных технологий сетей PON, которые необходимо учитывать при их построении.

Таблица 1.2- Сравнение параметров GEPON/GPON

Параметры	GEPON	GPON
Оптический бюджет	30,5 дБ	28,5 дБ
Полоса в направлении абонентов	1,2 Гбит/с	2,4 Гбит/с
Полоса в направлении от абонентов	1,2 Гбит/с	1,2 Гбит/с
Максимальная дальность до абонента	20 км	20 км
Максимальное количество ONU/ONT	32 – до 20 км	32 – до 20 км, 64 – до 12 км
Возможность передачи TDM-трафика (E1)	Нет	Да

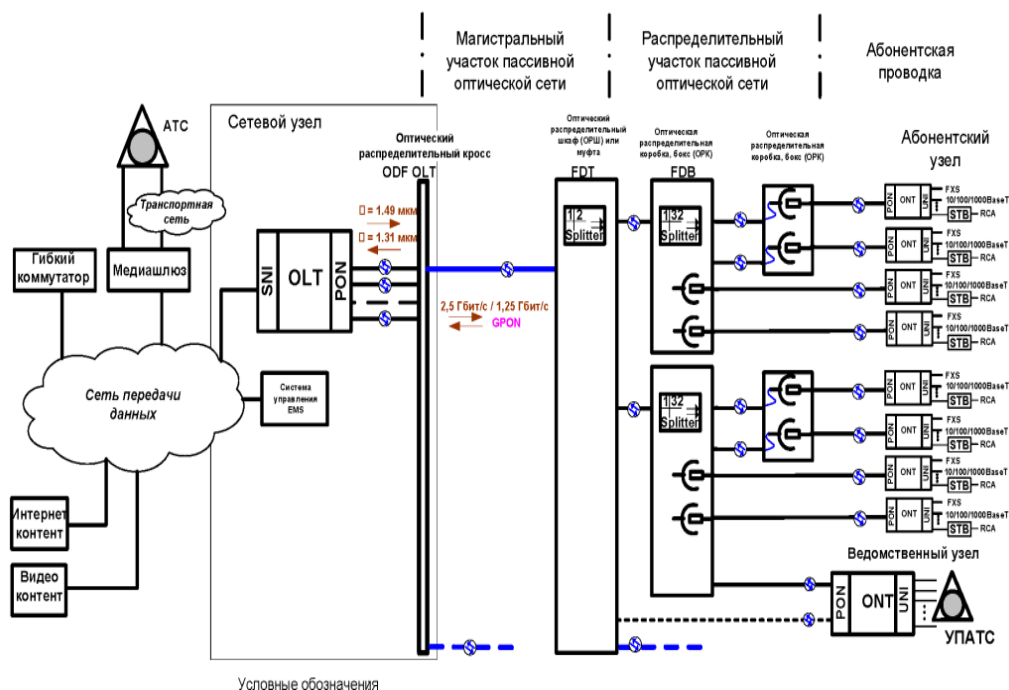


Рисунок 1.20 – Типовая схема организации связи с использованием технологии PON

OLT - Терминал оптической линии

ONT - Оптический сетевой терминал

SNI - Интерфейсы подключения к магистральным сетям

UNI Абонентские интерфейсы

PON Интерфейсы PONуровня

ODF Оптический распределительный кросс

FDT Оптический распределительный шкаф

FDB Оптический распределительная коробка

## 2 Расчетная часть

### 2.1 Определение затрат оптической сети доступа

Запас мощности зависит от типа ВОК, соединителей и применяемого оборудования. Максимальный уровень сигнала, необходимый для расчета затрат оптической сети (на выходе передатчика линейной платы стационарного терминала OLT) приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Технические характеристики OLT LTE-8ST

Мощность передатчика	от +2 до +7 дБ в соответствии с 1000BASE-PX20-D,U
Чувствительность приемника	от -30 до -6 дБ
Бюджет оптической мощности upstream/downstream	30,5 дБ/30 дБ

Т а б л и ц а 2.2 - Технические характеристики ONT NTE-2

Мощность передатчика	от +0,5 до +5 дБ
Чувствительность приемника	от -28 до -8 дБ
Бюджет оптической мощности upstream/downstream	30,5 дБ/30 дБ

При равномерном делении мощности в каждом разветвителе, мощность на входе ONT будет различна. Это связано с тем, что, как правило, абоненты находятся на разном расстоянии от главной станции. Подбор параметров разветвителей связан:

- с количеством подключаемых абонентов;
- с необходимостью построения сбалансированной сети.

Необходимость в этом связана с:

а) дальнейшим развитием системы, т.е. с необходимостью приблизительно равного запаса по затуханию в каждой ветви сети PON;

б) тем, что если сеть не сбалансирована, то тогда на терминал OLT от различных ONT будут приходить отличающиеся по уровню сигналы. А так как система не может обрабатывать сильно отличающиеся по уровню сигналы из-за больших перепадов, то возрастает степень ошибок при приеме потока [7].

Затратами оптической системы считается максимальное значение затухания в оптическом волокне от OLT до ONT.

Расчет производится следующим образом:

- расчет суммарных потерь для каждой ветви без учета потерь в разветвителях;
- расчет бюджета потерь для каждого абонентского терминала с учетом потерь во всех элементах цепи, сравнение его с динамическим диапазоном системы.

В рассчитываемой системе выберем централизованную архитектуру построения сети доступа, т.к. разветвители подключены к индивидуальному порту OLT. Разобьем затраты на оборудование на этапы. В первом этапе предполагается использование одного OLT, при нехватке портов будут использованы дополнительные сплиттеры. Данное расширение ресурсов инфраструктуры позволит повысить эффективность используемых портов и оборудования OL.

Рассчитаем самый ближайший ONT, ONT на средней удаленности и самый удаленный по отношению к OLT ONT. Расчет производится для наглядного представления работы проектируемой сети.

Все потери, для каждой оптической линии покажем (между OLT и ONT) в виде суммы затуханий  $A_{\Sigma}$ , дБ, всех элементов для потока downstream к абонентским терминалам. Передача к абоненту ведется на длине волны 1550нм. Мощность зависит от общей длины магистрального кабеля до микрорайона, наличия разветвителей и соединений (сварных и разъёмных).

На рисунке 2.1 показан участок сети доступа и элементы, вносящие потери.

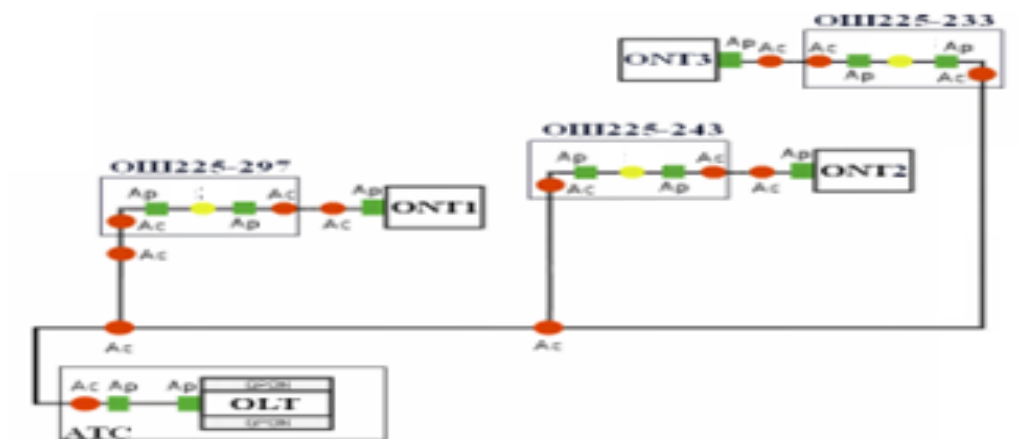


Рисунок 2.1 - Фрагмент сети доступа и различные соединения, вносящие потери

Рассчитаем оптический затраты по формуле

$$A_{\Sigma} = L_i \cdot \alpha + N_p \cdot A_p + N_c \cdot A_c + A_{раз}, \text{дБ} \quad (2.1)$$

где  $A_{\Sigma}$  - суммарные потери в линии (между OLT и ONU), дБ;

$L$ - длина участка, км;

$\alpha$  - коэффициент затухания оптического кабеля, дБ/км;

$N_p$ - количество разъемных соединений;

$A_p$ - средние потери в разъемном соединении, дБ;

$N_c$  - количество сварных соединений;

$A_c$  - средние потери в сварном соединении, дБ;раз

$A_{раз}$  - потери в оптическом разветвителе, дБ;

Первое значение - суммарные потери в оптическом кабеле, второе - потери в разъемах, третье - потери на сварках, и четвертое - потери в разветвителях.[7]

Таблица 2.3 - Величины коэффициентов потерь

Коэффициенты	Вносимые потери
Коэффициент затухания ОК на длине волны 1310 нм	0,35 дБ/км
Коэффициент затухания ОК на длине Волны 1550 нм	0,27 дБ/км
Потери в разъемных соединениях	0,3 дБ
Потери на сварных соединениях	0,08 дБ
Максимальные потери в разветвителе 1х32	18 дБ

Максимальные потери в разветвителе 1x64	20,3 дБ
---	---------

Таблица 2.4 - Количество вносимых потерь

Параметры	OLT1	OLT2	OLT3
$L$ , км	0,592	0,760	0,916
$N_p$ , шт	5	5	5
$N_c$ , шт	6	7	7

Расчет оптических затрат должен доказать утверждение, что общая величина потерь (включая запас) в сети не должна превышать динамический диапазон системы

$$P = P_{\text{вых.min}} - P_{\text{вх}} \geq A_{\Sigma} + P_{\text{зап}}, \quad (2.2)$$

где  $P$  - динамический диапазон PON, дБ;

$P_{\text{вых.min}}$  - минимальная выходная мощность передатчика OLT, дБм;

$P_{\text{вх}}$  - допустимая мощность на входе приемника ONT, дБм;

$A_{\Sigma}$  - суммарные потери в линии (между OLT и ONT), дБ;

$P_{\text{зап}}$  - эксплуатационный запас PON, дБ.

Расчёт произведен в программе Mathcad для двух длин волн 1310нм и 1550нм.(Приложение А рисунок А3). Результаты занесены в таблицы 2.5и 2.6

Таблица 2.5 – Данные по затратам оптической сети доступа при  $\lambda=1330\text{нм}$

Длина участка, км	Оптические затраты, дБ	
	Разветвитель 1x32	Разветвитель 1x64
20	20,187	22,487
50	20,246	22,546
100	20,381	22,681

Таблица 2.6 – Данные по затратам оптической сети доступа при  $\lambda=1550\text{нм}$

Длина участка, км	Оптические затраты, дБ	
	Разветвитель 1x32	Разветвитель 1x64
20	20,14	22,44
50	20,185	22,485
100	20,307	22,607

Из примеров видно, что соблюдается нестрогое неравенство, которое сохранится в плоть, до самого участка, использующего сплиттер 1x64.

Эксплуатационный запас учитывается в случае повреждений в линии, ухудшений условий передачи и для дальнейшего развития сети. К правилу используется запас 5-7 дБ, за исключением подключения значительного количества пользователей. Для таких случаев используется запас намного превышающий данные значения.



## 2.2 Расчет надежности оптического кабеля

Под надёжностью устройства, в том числе и оптического кабеля, понимают его свойство выполнять заданные функции в определённых условиях в течение определённого промежутка времени.

Особенности оптического кабеля определяют специфический подход к определению их вероятностно-временных параметров и надёжности. Значительная часть отказов в оптических кабелях, изготовленных из оптических волокон с недостаточно высокой механической прочностью, может происходить из-за обрывов оптических волокон. Обрыв волокна не влечёт за собой ухудшение в передаче информации по другим волокнам, а приводит к нарушению работы только одной из систем передачи, работающей на данном кабеле. Поэтому в оптических кабелях часто целесообразно рассматривать надёжность работы пары оптических волокон, а не всего кабеля.

Надёжность работы (при рассмотрении процесса старения оптического волокна) одной любой пары оптического волокна в оптическом кабеле без использования резервных волокон определяется по формуле:

$$P_{\text{н}} = \delta^{2i} + \delta^2 \sum_{i=1}^{2(i-1)} (2(i-1)_i)(1-p)^i p^{2(i-1)-i} + 2p(1-p) \sum_{j=1}^{2(n-1)} (2(n-1)_j)(1-p)^j p^{2(n-1)-j}, \quad (2.3)$$

где  $n$  – число пар оптических волокон в оптическом кабеле связи;

$p$  – вероятность безотказной работы одного оптического волокна;

$(2(n-1)_i)$  и  $(2(n-1)_j)$  – биномиальные коэффициенты;

$j$  – принимает нечётные значения.

Одним из способов повышения надёжности работы пары оптических волокон является резервирование оптических волокон в конструкции оптических кабелей связи. При этом необходимо учитывать, что резервирование наиболее эффективно при необходимости создания высоконадёжного оптического кабеля. Надёжность работы одной любой пары оптических волокон в оптическом кабеле с резервными волокнами определяется из выражения:

$$P_{\text{н}} = \sum_{i=2n}^{2n+b} (2n+b_i) p^i (1-p)^{2n+b-i} + p^2 \sum_{j=b+1}^{2(n-1)+b} (2(n-1)+b_j)(1-p)^j p^{2(n-1)+b-j} + 2p(1-p) \sum_{\alpha=b+1}^{2(n-1)+b} (2(n-1)+b_\alpha)(1-p)^\alpha p^{2(n-1)+b-\alpha} \quad (2.4)$$

где  $b$  – число резервных волокон в оптическом кабеле связи;

$\alpha$  – принимает нечётные значения при чётных значениях  $b$  и чётные значения при нечётных значениях  $b$ .

Надёжность работы оптического кабеля связи при старении оптических волокон (снижении механической прочности от влаги и механической нагрузки) определяется из выражения:

$$P_{\text{окс}} = p^{2n}. \quad (2.5)$$

А при наличии резервных волокон – из выражения:

$$P_{\text{окс}} = \sum_{i=2n}^{2n+b} (2n + b_i) p^i (1-p)^{2n+b-i}. \quad (2.6)$$

Определим надёжность работы пары оптических волокон и оптического кабеля связи без резервирования и с резервными волокнами. Расчёт сделаем для четырехволоконного оптического кабеля связи одним резервным волокном и без резервного волокна при пяти значениях надёжности оптических волокон  $P=0,99; 0,95; 0,9; 0,85; 0,8$ .

Найдём надёжность оптического без резервных волокон для  $P = 0,8$  по формуле (2.7):

$$P_{\text{окс}} = p^{2n} = 0,8^2 = 0,64.$$

Надёжность четырехволоконного оптического кабеля связи с двумя резервными волокнами определим по (3.70):

$$P_{\text{окс}} = \sum_{i=2n}^{2n+b} (2n + b_i) p^i (1-p)^{2n+b-i} = \sum_{i=2 \cdot 1}^{2 \cdot 1 + 1} (2 \cdot 2 + 2_i) 0,8^2 (1-0,8)^{2 \cdot 2 + 2 - 2} = 0,788.$$

Надёжность работы одной любой пары ОВ в четырехволоконном оптическом кабеле без резервных волокон определим из выражения (2.8):

$$P_{\text{нпо}} = p^{2n} + p^2 \sum_{i=1}^{2(n-1)} (2(n-1)_i) (1-p)^i p^{2(n-1)-i} + 2p(1-p) \sum_{j=1}^{2(n-1)} (2(n-1)_j) (1-p)^j p^{2(n-1)-j} = 0,802.$$

Надёжность работы одной любой пары ОВ в двухволоконном оптическом кабеле с одним резервным волокном найдём из выражения (2.9):

$$\begin{aligned} P_{\text{нпо}} &= \sum_{i=2n}^{2n+b} (2n + b_i) p^i (1-p)^{2n+b-i} + p^2 \sum_{j=b+1}^{2(n-1)+b} (2(n-1) + b_j) (1-p)^j p^{2(n-1)+b-j} + \\ &+ 2p(1-p) \sum_{\alpha=b+1}^{2(n-1)+b} (2(n-1) + b_\alpha) (1-p)^\alpha p^{2(n-1)+b-\alpha} = 0,831. \end{aligned}$$

### 2.3 Расчет параметров передачи и взаимного влияния

Расчёт параметров передачи и взаимного влияния производится по формулам для полутактовой частоты 1 МГц.

Расстояние между центрами жил для парной скрутки определяется по формуле:

$$a = d_1, \text{ мм}, \quad (2.10)$$

где  $d_1$  - диаметр изолированной жилы, мм.

Для сплошной шланговой полиэтиленовой изоляции жил: формула:

$$d_1 = d_0 + 2t, \text{ мм}. \quad (2.11)$$

где  $t$  - толщина полиэтиленовой изоляции,  $t = 1,1$  мм;

$d_0$  - диаметр голый токоведущей жилы  $d_0 = 0,32$  мм.

$$d_1 = 0,32 + 2 \cdot 1,1 = 2,52 \text{ мм},$$

$$a = d_1 = 2,52 \text{ мм}.$$

Сопротивление кабеля  $R$  определяем по формуле:

$$R^* = 2R_0 \aleph \cdot [1 + F(kr) + \frac{pG(kr)(d/a)^2}{1 - H(kr)(d/a)^2}], \quad (2.12)$$

где  $2R_0$  - сопротивление постоянному току, Ом/км;

$p$  - коэффициент, учитывающий потери на вихревые токи,

$q - p = 1$  - при парной скрутки;

$\aleph$  - коэффициент скрутки,  $\aleph = 1,02$ ;

$F(kr)$ ,  $G(kr)$ ,  $H(kr)$ ,  $Q(kr)$  - функции от  $kr$ ;

$d$  - диаметр проводника, мм;

$a$  - расстояние между проводниками, мм.

$$\text{Для меди: } kr = 0,0105 \cdot d \sqrt{f}, \quad (2.13)$$

где  $d$  - диаметр проводника, мм;

$f$  - частота,  $f = 10^6$  Гц.

$$kr = 0,0105 \cdot 0,32 \sqrt{10^6} = 3,36$$

$$F(kr) = 0,492,$$

$$G(kr) = 0,499,$$

$$H(kr) = 0,416,$$

$$Q(kr) = 0,766.$$

$$2R_0 = [(8 \cdot \rho \cdot \aleph) / (\pi \cdot d_0^2)] \cdot 10^3, \text{ Ом/км}, \quad (2.14)$$

где  $\rho$  - удельное сопротивление,  $\rho = 0,01724$  Ом\*мм<sup>2</sup>/м;

$\aleph$  - коэффициент скрутки,  $\aleph = 1,02$ ;

$d_0$  - диаметр проводника, мм.

$$2R_0 = [(8 \cdot 0,01724 \cdot 1,02) / (3,14 \cdot 0,32^2)] \cdot 10^3 =$$

$$= [0,141 / 0,321] \cdot 10^3 = 439,25 \text{ Ом/км},$$

$$R = 439,25 \cdot 1,02 [1 + 0,492 + (1 \cdot 0,499 \cdot 0,016) / (1 - 0,416 \cdot 0,016)] =$$

$$= 448,035 [1,492 + (7,9 \cdot 10^{-3} / 0,995)] = 448,035 \cdot 1,5 = 672,1 \text{ Ом/км}.$$

Найдём добавки сопротивления, обусловленные потерями на вихревые токи в проводах смежных четвёрок и металлической оболочке кабеля, рассчитываемого по формуле:

$$R_M = R_{MT} \sqrt{f} / 200, \text{ Ом/км}, \quad (2.15)$$

где  $R_{MT}$  - табличные данные.

$R_{MT} = R'_{MT} + R''_{MT}$  берётся в зависимости от числа четвёрок и состоит из двух слагаемых. Первое  $R'_{MT}$  - берётся из столбца «повивы смежных четвёрок»,  $R'_{MT} = 0$ .  $R''_{MT} = 0$ , так как оболочка полиэтиленовая. Значения берутся из столбцов для повива 1;

$$R_{MT} = 0 + 0 = 0 \text{ Ом/км};$$

$$R_M = 0 \text{ Ом/км}.$$

Общее сопротивление:

$$R = R^* + R_M = 672,1 + 0 = 672,1 \text{ Ом/км}.$$

Ёмкость кабеля  $C$  определяется по формуле:

$$C = (\aleph \cdot \epsilon \cdot 10^{-6}) / [36 \ln(a \cdot \psi / r)], \text{ Ф/км}, \quad (2.16)$$

где  $\aleph$  - коэффициент скрутки кабельных цепей;

$\epsilon$  - эффективная диэлектрическая проницаемость изоляции,  $\epsilon = 2$  - для полиэтиленовой изоляции;

$\psi_{II}$  - поправочный коэффициент, характеризующий близость металлической оболочки проводников, рассчитывается по формуле (3.75);

$a$  - расстояние между проводниками, мм;

$r$  - радиус проводника, мм.

$$\psi_{II} = [(d_{II} + d_1 - d)^2 - a^2] / [(d_{II} + d_1 - d)^2 + a^2], \quad (2.17)$$

где  $d_{II}$  - расчётный диаметр группы, мм,

$$d_{II} = 1,71 \cdot d_1 = 1,71 \cdot 2,52 = 4,31 \text{ мм};$$

$d_1$  - диаметр изолированной жилы, мм;  $d_1 = 2,52 \text{ мм}$ ;

d - диаметр проводника, мм; d = 0,32 мм;

a - расстояние между проводниками, мм; a = 2,52 мм.

$$\psi_{\pi} = [(4,31+2,52-0,32)^2 - 2,52^2] / [(4,31 + 2,52 - 0,32)^2 + 2,52^2] = \\ = [42,38 - 6,35] / [42,38 + 6,35] = 36,03/48,73 = 0,74.$$

$$C = (1,02 \cdot 2 \cdot 10^{-6}) / [36 \ln(2,52 \cdot 0,74 / 0,16)] = \\ = 2,04 \cdot 10^{-6} / 88,41 = 2,31 \cdot 10^{-8} \text{ Ф/км.}$$

Индуктивность кабеля L определяем по формуле:

$$L = [4 \cdot \ln(a-r/r) + \mu \cdot Q(kr)] 10^{-4}, \text{ Гн/км,} \quad (2.18)$$

где a - расстояние между проводниками, a = 2,52 мм;

r - радиус проводника, мм; r = 0,16 мм;

$\mu$  - магнитная проницаемость,  $\mu = 1$ ;

$Q(kr) = 0,766$ .

$$L = [4 \cdot \ln(2,52-0,16/0,16) + 1 \cdot 0,766] 10^{-4} = 11,53 \cdot 10^{-4} \text{ Гн/км.}$$

Проводимость изоляции G определяется по формуле:

$$G = \omega \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta = 2\pi f \cdot C \cdot \operatorname{tg} \delta, \text{ См/км,} \quad (2.19)$$

где f - частота, Гц;

C - ёмкость кабеля;

$\operatorname{tg} \delta$  - угол диэлектрических потерь,  $\operatorname{tg} \delta = 3 \cdot 10^{-4}$ .

$$G = 2 \cdot 3,14 \cdot 1000000 \cdot 2,31 \cdot 10^{-8} \cdot 3 \cdot 10^{-4} = 4,35 \cdot 10^{-5} \text{ См/км.}$$

Волновое сопротивление  $Z_{\text{в}}$  определяется по формуле:

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{L/C}, \text{ Ом,} \quad (2.20)$$

где L и C - первичные параметры линии.

$$Z_{\text{в}} = \sqrt{11,35 \cdot 10^{-4} / 2,31 \cdot 10^{-8}} = 223,4 \text{ Ом.}$$

Затухание  $\alpha$  определяется по формуле:

$$\alpha = 8,69 [ \{ (R/2) \cdot (\sqrt{C/L}) \} + \{ (G/2) \cdot (\sqrt{L/C}) \} ], \text{ дБ,} \quad (2.21)$$

где R, L, C, G- первичные параметры линии.

$$\begin{aligned}\alpha &= 8,69 * [ \{ (721,3 / 2) * (\sqrt{2,31 * 10^{-8} / 11,53 * 10^{-4}}) \} + \\ &+ \{ (4,35 * 10^{-5} / 2) * (\sqrt{11,53 * 10^{-4} / 2,31 * 10^{-8}}) \} ] = \\ &= 8,69 * [ 336,05 * 4,47 * 10^{-3} + 2,17 * 10^{-5} * 223,41 ] = \\ &= [ 1,5 + 4,84 * 10^{-3} ] * 8,69 = 13,1 \text{ дБ/км} \approx 1,51 \text{ Нп/км}.\end{aligned}$$

Длина усилительного участка рассчитывается по формуле:

$$l_{yy} = A_y / \alpha, \text{ км}, \quad (2.22)$$

где  $\alpha$  - коэффициент затухания цепи при частоте 1 МГц; [8]

$A_y$  - перекрываемое затухание усилительного участка, дБ.

Можно использовать упрощенные формулы для (3.84):

$$N_{12} \approx 20 * \omega * Z_B * 10^{-12} \text{ и } F_{12} \approx 0,1 N_{12}, \quad (2.23)$$

причем обе величины измеряются в 1/км.

$$\begin{aligned}N_{12} &\approx 20 * 2 * 3,14 * 1000000 * 223,4 * 10^{-12} = 0,03 \text{ 1/км}, \\ F_{12} &\approx 0,1 * 0,03 = 3 * 10^{-3} \text{ 1/км}.\end{aligned}$$

$N_{12}$  и  $F_{12}$  – электромагнитные связи строительной длины кабеля.

Для расчёта параметров влияния необходимо использовать формулы (3.85), (3.86), (3.87), для которых  $\alpha$  в Нп/км.

$$A_0 = 20 \lg | 2 \sqrt{4} \alpha / ( N_{12} * \sqrt{1} - e^{-4\alpha l} ) |, \text{ дБ}, \quad (2.24)$$

где  $\alpha$  - затухание, нП/км;

$l$  - длина усилительного участка, км.

$$\begin{aligned}A_0 &= 20 \lg | 2 \sqrt{4} * 1,51 / (0,03 * \sqrt{1} - e^{-4 * 1,51 * 2,44}) | = \\ &= 20 \lg | 4,9 / (0,03 * \sqrt{1} - e^{-14,73}) | = \\ &= 20 \lg | 4,9 / 0,03 | = 44,3 \text{ дБ}.\end{aligned}$$

$$A_1 = 20 \lg | 2 / (F_{12} * e^{-\alpha l} \sqrt{1}) | = 20 \lg | 2 / (F_{12} * \sqrt{1}) | + \alpha l, \text{ дБ}, \quad (2.25)$$

где  $l$  - длина усилительного участка, км;

$\alpha$  - затухание, нП/км.

$$A_1 = 20 \lg | 2 / (3 * 10^{-3} * \sqrt{2,44}) | + 1,51 * 2,44 = 52,6 + 3,7 = 56,3 \text{ дБ}.$$

$$A_3 = 20 \lg | 2 / (F_{12} * \sqrt{1}) |, \quad (2.26)$$



$$A_3 = 20 \lg |2 / (3 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{2,44})| = 52,6 \text{ дБ.}$$

Рассчитанные параметры защищённости позволяют сделать вывод об отсутствии необходимости дополнительных мер защиты.

## **2.4 Выбор оптического коммутатора и расчет параметров коммутатора**

Оптический коммутатор принципиально отличается от механической коммутации потоков. При оптической коммутации время срабатывания определяется переходными процессами в электрической цепи управления оптического коммутатора и обычно на несколько порядков меньше.

Большинство основных конструкции оптических коммутаторов должно иметь, по крайней мере, два выхода.

Основными параметрами коммутатора являются: перекрестные помехи, вносимые помехи, скорость переключения, управляющие напряжения. В настоящий время используются разнообразные типы оптических коммутаторов - направленный ответвитель или мостовой балансировый интерферометр и коммутатор на скрещивающихся волноводах.

В основе работы оптического коммутатора используется линейный электрооптический эффект Поккеля (Pockels), который заключается в изменении показателя преломления материала пропорционально напряженности приложенного поля. Эффект Поккеля может наблюдаться только в кристаллах, не обладающих центром симметрии.

Устройства мультиплексирования/демультиплексирования WDM, волновые фильтры и оптические коммутаторы имеют одну общую деталь -

в основе их работы лежат в той или иной степени интерференционные эффекты. Основные принципы работы легче рассмотрим на простейшем четырёхполюснике: разветвителе - коммутаторе

*Разветвитель – коммутатор 2х2 (элемент 2х2)*

Общая схема сплавного разветвителя Х-типа показана на рисунке 2.8(а). Излучение, введенное в один волновод, проникает в другой за счёт перекрытия реактивных полей двух волноводов. Погонный коэффициент связи  $k$  зависит от параметров волновода, длины волны  $\lambda$  и ширины зазора  $g$  между волноводами. Разветвитель характеризуется разностью постоянных распространения двух волноводов.[7-8]

$$\Delta\beta = 2\pi(N_1 - N_2) / \lambda \quad (2.27)$$

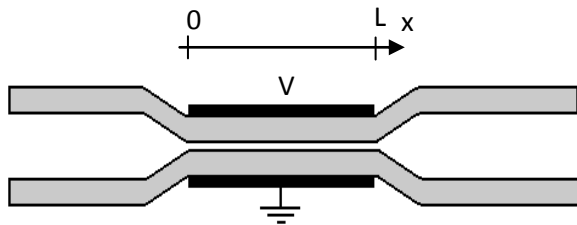
(где  $N$ -эффективность показателя преломления) и длиной  $L$ .

Прикладывая электрическое напряжения к электродам, расположенным по бокам или сверху и снизу волноводов, образующих так называемую ячейку Поккеля, можно регулировать фазовую расстройку за счет линейного электрооптического эффекта.

Программа:

```
Program z1 ; Var Δβ,π,N1,N2,λ:Real;
```

```
begin;π:=3.14;N1:=;N2:=;λ:=; Δβ:=((2*π*(N1-N2))/ λ); Writeln(Δβ); end.
```



а)

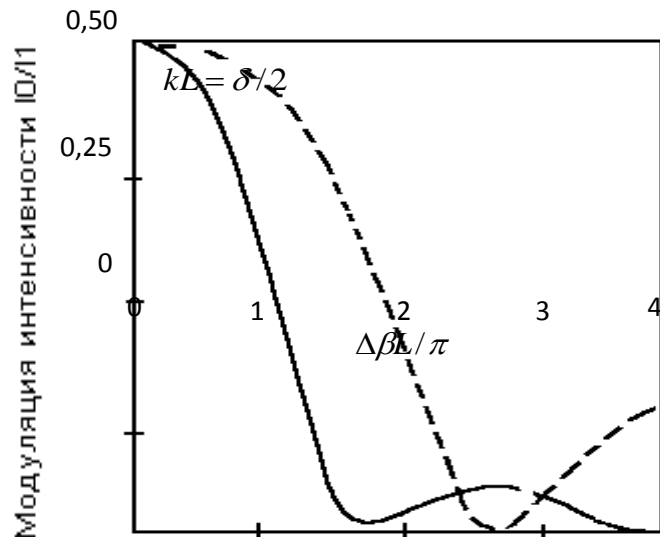


Рисунок 2.2-Общая схема и характеристика направленного ответвителя

а) направленный ответвитель- переключатель

б) модуляционная характеристика направленного ответвителя, действующая как переключатель.

Далее необходимо решить систему двух комплексных дифференциальных уравнений, описывающие взаимосвязанные моды.

$$iR' = -\delta R + kS \quad (2.16)$$

$$iS' = \delta S + kR \quad (2.17),$$

где  $\delta = \Delta\beta/2$ ,  $R$  и  $S$ - комплексные амплитуды волн в двух волноводах, штрих- означает производную по  $x$ .

В частном случае, когда только в один волновод вводится единичная мощность т.е.  $R(0)=1$ ,  $S(0)=0$ , то можно , решая эти уравнения определить мощность, переданную в другой волновод, т.е. величину  $|S(L)|^2$ , которая также носит название эффективности передачи:

$$\eta = \frac{1}{1 + (\delta/k)^2} \cdot \sin^2 kL [1 + (\delta/k)^2]^{1/2} \quad (2.28)$$

Программа для расчёта эффективности передачи:

```
Program z2;
```

```
Var δ,k,L,η:Real;
```

begin; $\delta:=$  ; $k:=$  ; $L:=$  ;

$\eta:=(1/(1+\text{sqr}(b/k))) * (\text{sqr}(\sin(k*L*(1+\text{sqr}(b/k))))); \text{ Writeln}(\eta);\text{end.}$

В случае полностью симметричной конструкции на основе двух одинаковых разветвителей ( рисунок 2.2 а) в отсутствии напряжения ( $\delta=0$ ) мы имеем

$$\eta = \sin^2 kL, \quad (2.29)$$

Полная передача мощности происходит при  $kL = (2n + 1)\pi / 2k$  ,  
где  $n$ - целое число, и минимальная длина при этом определится выражением :

$$L = \pi / 2k .$$

В силу полной линейности и однородности системы уравнения (2.16) и (2.17),

любая линейная комбинация двух решений, также так же будет решением.

При условии ( $\delta=0$  и  $L=\pi/2k$  ), полная (кроссовая) передача мощности будет иметь место для обоих сигналов, входящих в каждый волновод – сигналы должны быть одной и той же длины волны, а именно той, для которой рассчитывался коэффициент передачи  $k$ , и соответственно , длина участка взаимодействия  $L$ .

Заметим, что при  $\delta \neq 0$  полная передача мощности невозможно ни при каких значениях  $kL$ .

Параллельность прохождения ( $\eta=0$ ) можно обеспечить за счёт подачи электрического потенциала, ввода фазовую расстройку  $\Delta\beta$ .

Легко определить величину необходимой расстройки

$$\Delta\beta = \sqrt{\frac{3\pi}{L}} .$$

В отсутствии напряжения эффективность связи между волноводами коммутатора составляет 100% (оптический сигналы полностью кроссируются – входят в один волновод, выходят из другого), а при подаче необходимого напряжения эффективность связи уменьшается до 0.

Поскольку уравнения (2.16) и (2.17) линейны по обоим аргументам и однородны, то суперпозиция любых двух, являются по отдельности решений, также будет решением.

Таким образом, разветвитель- коммутатор 2х2 осуществляет коммутацию без блокировки.

Ещё одна реализация разветвителя – коммутатора 2х2, состоящая из двух последовательных Х- разветвителей представлена ниже. Оптические сигналы после прохождения по разным плечам интерферируют во втором разветвителе.

Путём изменения напряжения на электродах, охватывающих одно из плеч, можно регулировать разность фаз между приходящими во второй разветвитель сигналами, и тем самым влиять на характер интерференции.

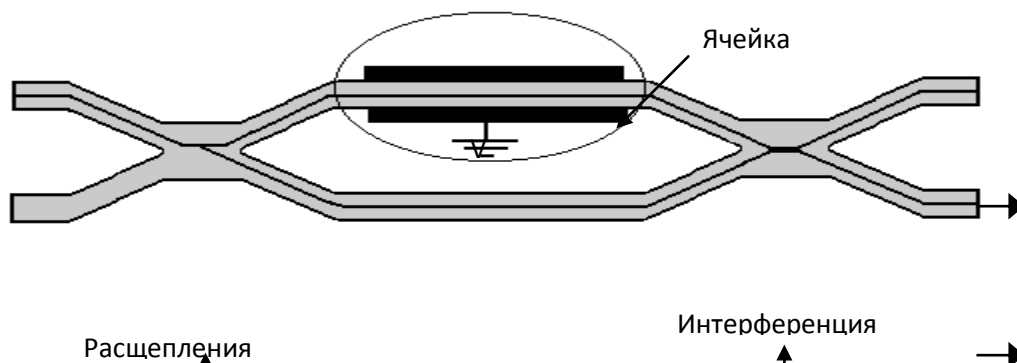


Рисунок 2.3 -Разветвитель – коммутатор 2х2, состоящий из двух последовательных Х- разветвителей

Результаты расчета в приложении А и В

### 3 БИЗНЕС - ПЛАН

#### 3.1 Экономический расчет

С учетом строительства альтернативного варианта волоконно-оптической линии связи в г.Бесоба произведем расчет, экономическую эффективность, срок окупаемости, сравнив со спутниковой сетью, с применением аппаратуры синхронной цифровой иерархии SDH (СЦИ) с потоком STM-1 фирмы «Siemens»[21].

Волоконно-оптические линии связи, имеющие ряд преимуществ обусловленных такими характеристиками как:

- большая пропускная способность;
- большая длина регенерационных участков;
- большая экономия цветных металлов;
- малое затухание;
- большая помехозащищенность;
- малые массы и габаритные размеры;

Данная ВОСП будет обеспечивать высокое качество передачи информации с высокой скоростью.[11]

##### 3.1.1 Характеристика продукции

Цифровой поток STM-1 - стандартный цифровой поток, предназначенный для транспортирования информации любого вида в цифровой форме. STM-1 строится на базе цифрового канала, которые

посредством мультиплексирования объединяются в потоки с различной скоростью передачи: 2 Мбит/с, 8 Мбит/с, 34 Мбит/с, 140 Мбит/с, 155 Мбит/с.

Любой поток каналов с выше перечисленными скоростями может быть выделен в любом промежуточном пункте магистрали.

### **3.1.2 Маркетинговый план**

В договоре с арендатором цены фиксированные, установленные компанией ТОО “ ”. Для привлечения клиентов ценовая политика компании установлена таким образом, что цена за аренду одного канала ниже чем, оператора связи ОАО «Казахтелеком».

Мероприятия по предоставления товара на рынок в основном связаны с проведением компании по рекламированию новых услуг АО “АРНА”:

- широкую номенклатуру услуг телефонии;
- высокое качество связи;
- высокоскоростной доступ к сети Интернет и приложения (e-mail, веб-дизайн, регистрация доменов);
- подключение к глобальным информационным сетям и финансовым системам;
- возможность организации услуг ISDN;
- доступные тарифы.

Будет произведена работа по:

- Разработке и выпуску общего рекламного проекта АО “АРНА” и рекламно-информационных листов;
- Размещение рекламных материалов в специализированных печатных изданиях, интернете;
- Выпуск аудиороликов на местных и республиканских электронных СМИ

Заключение договоров об аренде каналов или групп каналов.[11]

### **3.2 Финансовый план**

Инвестиции

Для осуществления проекта ВОСП необходимы следующие расходы, указанные в таблице 4.6. В которой указаны затраты необходимые на обучение персонала для работы на новом оборудовании; затраты на прокладку линии связи, оборудование а также необходимые инвестиции на рекламную компанию.

Из таблицы 4.6 видно что, затраты на кабель обходятся в два раза дороже, связано это с тем, что волоконно-оптическая линия связи соединена используя топологию "последовательной линейной цепи" с резервированием канала типа 1+1, что увеличивает затраты на кабель в два раза. Хотя эта топология обходится дороже по сравнению с обычной структурой соединения без резервирования канала, она имеет преимущество в том, что передача может осуществляться по двум кабелям, один из которых является основным,

а второй - резервным, что обеспечивает защиту от обрыва кабеля или отказа оборудования.

Найдем число муфт на данном участке:

$L = 2000$  км;

$L_{\text{стр}} = 6$  км. Строительная длина кабеля, берется из технических характеристик кабеля.

$$N_{\text{муфт}} = (L / L_{\text{стр}}) - 1 = (2000 / 6) - 1 = 332, \text{ муфты.} \quad (3.1)$$

В таблице 3.1 все цены взяты из прайс листов компании Siemens, Севкабель. Объем необходимых инвестиций составляет 776 507 500, тг, в эту сумму входит стоимость 2000 км оптического кабеля. Для данного проекта берется из собственных средств.[11]

Таблица 3.1– Расчет инвестиций

Наименование	Число единиц	Норматив инвестиций, тг.	Общая сумма, тг.
1 Линейно-кабельные сооружения			
Кабель ВОЛС, км	2000	150 000	600 000 000
Полиэтиленовая труба, км	2000	14 000	56 000 000
Муфты, шт.	332	25 000	8 300 000
Прокладка и монтаж кабеля			150 000
Прочие расходы			1 000 000
2 Станционные сооруж.:			
SMA-1K (С питанием, с прогр. обеспечением), шт.	39	3 000 000	117 000 000
Сервер системы управления и программное обеспечение TNMS (с питанием, с программным обеспечением), шт.	1	5 000	5 000
3 Измерительные приб.:			
Анализатор 2МБ/с потока, шт.	39	700	273000
Тестер цифровой EDCT-2, шт.	39	1500	58 500
Оптический телефон PTS-20, шт.	39	9000	351 000
4 Затраты на рекламную кампанию.			500 000
5 Затраты на обучение обслуживающего персонала одного ЛАЦ	39	30 000	1 170 000
6 Итого			776 507 500

### 3.2.1 Расчет штата

Чтобы определить общий штат по обслуживанию линии связи, надо рассчитать штат по обслуживанию линейных сооружений, штат по обслуживанию ЛАЦ. Данные взяты по «Нормативам трудоемкости и численности эксплуатационной деятельности предприятий отрасли «Связь».

Штат по обслуживанию линейных сооружений рассчитывается по формуле:

$$P_{л} = \left( \frac{L \times Ншт}{173} \right) \times 1,06, \quad (3.2)$$

где  $L$  – длина трассы, 2000 км;

Ншт – штатный норматив 4 чел. в месяц на 1 км;

173 – среднемесячная норма рабочего времени одного работника, ч;

1,06 – коэффициент, учитывающий резерв работников на подмену во время очередных отпусков;

$$P_{л} = \left( \frac{2000 \times 4}{173} \right) \times 1,06 = 49, \text{ чел.}$$

Для обслуживания оборудования в линейном аппаратном цехе достаточно один магистральный инженер и четыре сменных электромеханика:

На магистрали в проектируемом участке имеется 39 ЛАЦ.[11]

$$P_{лац} = (1+4) \times 39 = 195, \text{ чел.}$$

### 3.2.2 Фонд оплаты труда (ФОТ)

Таблица 3.2 - Штат работников и годовой фонд оплаты труда

Штат работников	Количество людей, чел	Месячная зарплата, тенге	Общая сумма зарплаты, тенге	ФОТ, тенге
1 Старший инженер	39	45 000	1 755 000	21 060 000
2 Электромеханик ЛАЦ	72	27 000	1 944 000	23 328 000
3 Электромеханик линейного сооружения	84	25 000	2 100 000	25 200 000
ВСЕГО	195	97 000	5 799 000	69 588 000

Годовой Фонд оплаты труда составляет [20]:

$$\Phi OT = 5\,799\,000 * 12 = 69\,588\,000, \text{ тенге.}$$

Социальный налог:

$$O_{CH} = (\Phi OT - 0,1\Phi OT) * 0,11 \quad (3.3)$$

$$O_{CH} = (69\,588\,000 - 0,1 * 69\,588\,000) * 0,11 = 12\,525\,840, \text{ тенге.}$$

Накладные расходы:

$$H = 69\,588\,000 * 0,3 = 20876400, \text{ тенге.}$$

Материалы и запасные части:

$$M = K \cdot 5\%, \quad (3.4)$$

$$M = 776\,507\,500 * 0,05 = 38\,825\,375, \text{ тенге.}$$

Амортизация: срок службы волоконно-оптических линий связи составляет 20 лет, в данном проекте использован прямолинейный метод амортизации, т.е. ежегодные отчисления на амортизацию будут производиться равномерно.

$$A = K / \Gamma, \quad (3.5)$$

$K$  = сумма капиталовложений,

$\Gamma$  = срок службы линий связи

$$A = 776507500 / 20 = 38\,825\,375,$$

т.е. ежегодные амортизационные отчисления составят 38 825 375 тг.

Годовые эксплуатационные расходы:

$$\mathcal{E}p = \Phi OT + O_{CH} + M + H + A, \quad (3.6)$$

Подставляем значения в формулу  $\mathcal{E}p$  и получаем:

$$\mathcal{E}p = 69588000 + 12525840 + 38825375 + 20876400 + 38825375 = 180640990, \\ \text{тенге.}$$



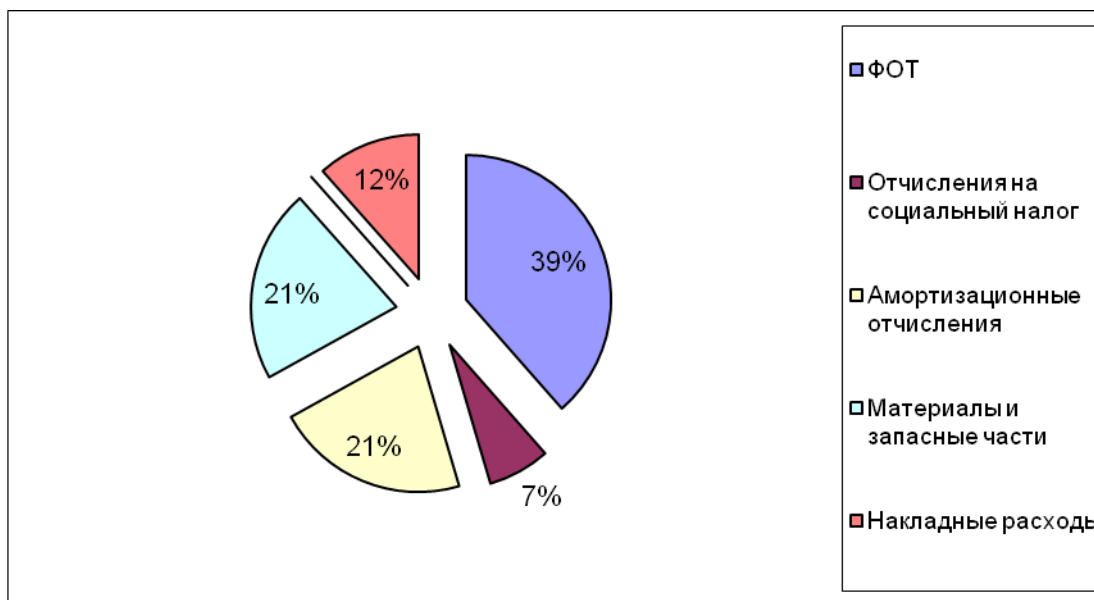


Рисунок 3.1 – Структура эксплуатационных затрат

### 3.2.3 Доходы и экономическая эффективность

Годовая сумма доходов:

$$D = Q * Ц_{ак} * k , \quad (3.7)$$

где  $Q$  - число сдаваемых в аренду каналов (150 каналов)

$Ц_{ак}$  – цена одного цифрового канала в час в ОАО «Казахтелеком» составляет -165 тг. (Данные взяты в ОАО «Казахтелеком» в группе доступа к СТОП и аренды каналов). Для привлечения клиентов АО «АРНА» установил тариф аренды канала ниже, чем у ОАО «Казахтелеком».  $Ц_{ак}$  составляет 150 тг. в час.

Определим доход от аренды каналов в год

$$Д = k * 8760 * 150 , \quad (3.8)$$

где  $k$  - количество часов (в году = 8760 часов, т.к. оборудование используется не на 100%, а примерно на 25% берем 2190 часов).

$$Д = 600 * 2190 * 150 = 264375000, \text{ тенге.}$$

Чистый доход от хозяйственной деятельности:

$$ЧД_{осн} = Д - Э_p , \quad (3.9)$$

$$ЧД_{осн} = 264375000 - 180640990 = 83734010, \text{ тенге.}$$

Налог с прибыли 20% в бюджет рассчитаем по формуле:

$$Нп = 0,3 \times ЧДосн, \quad (3.10)$$

$$Нп = 0,2 \times 83734010 = 16746802, \text{ тенге.}$$

Чистый доход предприятия:

$$ЧДпр = ЧДосн - Нп, \quad (3.11)$$

$$ЧДпр = 83734010 - 16746802 = 66987208, \text{ тенге}$$

Коэффициент общей (абсолютной) экономической эффективности капитальных вложений:

$$Е = (Д - Э) / К = ЧДосн / К, \quad (3.12)$$

где Д – доходы от основной деятельности

Э – эксплуатационные расходы;

ЧДосн - чистый доход.

$$Е = 83734010 / 776507500 = 0,2.$$

Срок окупаемости капитальных вложений – срок возвратности средств, является показателем, обратным коэффициенту общей (абсолютной) эффективности:

$$Т = 1/Е, \quad (3.13)$$

где Е – абсолютная экономическая эффективность.

$$Т = 1/0,2 = 5.$$

По полученным данным можно сказать, что проектируемая линия связи не выгодна и окупит себя только через 5 лет.[11]

Полученные экономические показатели проекта приведены в таблице 3.3

Таблица 3.3 – Результаты расчетов

Наименование показателя	Величина
1 Капиталовложения, тыс. тг.	776 507 500
2 Штат, чел	195
3 Эксплуатационные расходы, тг.	180 640 990
4 Чистый доход, тыс. тг.	83 734 010
5 Срок окупаемости (без дисконтирования), год	5
6 Коэффициент экономической эффективности, 1/год	0,2

### **4.1 Создание рабочего места с учетом эргономики**

Проектирование корпоративной сети в данном дипломном проекте касались центральной станции HUB. В режиме эксплуатации данное оборудование не требует постоянного присутствия обслуживающего персонала. Инженеры, обслуживающие данное оборудование, находятся в операторской и с помощью компьютеров осуществляют все необходимые действия по управлению системой.

На автоматизированном рабочем месте оператора-связиста (оператор в диспетчерской) в общем случае используются:

- средства отображения информации индивидуального пользования (блоки отображения, устройства сигнализации и так далее);
- средства управления и ввода информации (пульт дисплея, клавиатура управления, отдельные органы управления и так далее);
- устройства связи и передачи информации (модемы, телеграфные и телефонные аппараты);
- устройства документирования и хранения информации (устройства печати, магнитной записи и так далее);
- вспомогательное оборудование (средства оргтехники, хранилища для носителей информации, устройства местного освещения).

На автоматизированном рабочем месте обеспечена информационная и конструктивная совместимость используемых технических средств, антропометрических и психофизиологических характеристик человека.

При организации рабочего места учтены не только факторы, отражающие опыт, уровень профессиональной подготовки, индивидуально-личностные свойства операторов-связистов, но и факторы, характеризующие соответствие форм, способов представления и ввода информации психофизиологическим возможностям человека.

При оптимизации процедур взаимодействия операторов-связистов с техническими средствами в условиях автоматизации эргономические факторы выступают в качестве основных, обуславливающих вероятностно-временные характеристики и напряженность работы. Эти факторы являются чувствительными к вариациям индивидуально-личностных свойств оператора [16-22].

Рабочая мебель удобна для выполнения планируемых рабочих операций. Конструкция рабочей мебели: стола, стула имеет огромное значение для создания здоровых условий и высокопроизводительного труда. Рабочая мебель конструируется с учетом антропометрических данных человека, технических, эстетических и экономических факторов.

В комплекте рабочей мебели большое значение имеет конструкция производственного стула, так как от него зависит поза работника, а следовательно, и затрата энергии и степень его утомляемости. Рабочее

сиденье имеет требуемые размеры, соответствующие антропометрическим данным человека, и подвижны, стулья и кресла с регулируемым наклоном спинки и высотой сиденья.

Поверхности письменных и рабочих столов расположены на уровне локтя при рабочем положении человека. При выборе высоты стола учитывается, сидит человек во время работы или стоит.

Неудобная высота стола снижает эффективность работы и вызывает быстрое утомление. Отсутствие достаточного пространства для коленей и ступней вызывает постоянное раздражение работника. Минимальная рабочая высота стола равна 725 мм. Как показывает практика, для рабочего среднего роста высота рабочего стола принимается 800 мм.

Размещение технических средств и кресла оператора в рабочей зоне обеспечивает удобный доступ к основным функциональным узлам и блокам аппаратуры для проведения технической диагностики, профилактического осмотра и ремонта; возможность быстро занимать и покидать рабочую зону; исключение случайного приведения в действие средств управления и ввода информации; удобную рабочую позу и позу отдыха. Кроме того, схема размещения удовлетворяет требованиям целостности, компактности и технико-эстетической выразительности рабочей позы.



Рисунок 4.1— Правильное расположение монитора

Дисплей размещается на столе или подставке так, чтобы расстояние наблюдения информации на экране не превышало 700 мм (оптимальное расстояние 450 - 500 мм). Экран дисплея по высоте расположен так, чтобы угол между нормалью к центру экрана и горизонтальной линией взгляда составлял  $20^{\circ}$ . В горизонтальной плоскости угол наблюдения экрана не превышает  $60^{\circ}$ . Пульт дисплея размещен на столе или подставке так, чтобы высота клавиатуры пульта по отношению к полу составляла 650 - 720 мм. При размещении пульта на стандартном столе высотой 750 мм используется кресло с регулируемой высотой сиденья (450 - 380 мм) и подставку для ног.[10]

Документ (бланк) для ввода оператором данных располагается на расстоянии 450 - 500 мм от глаза оператора, преимущественно слева, при этом угол между экраном дисплея и документом в горизонтальной плоскости составляет  $30^{\circ}$  -  $40^{\circ}$ . Угол наклона клавиатуры равен  $15^{\circ}$ .

Экран дисплея, документы и клавиатура пульта дисплея расположены так, чтобы перепад яркостей поверхностей, зависящий от их расположения относительно источника света, не превышал 1 : 10 (рекомендуемое значение 1 : 3). При номинальных значениях яркостей изображения на экране 50 - 100 кд/м<sup>2</sup> освещенность документа составляет 300 - 500 лк.

Рабочее место оборудовано таким образом, чтобы движения работника были бы наиболее рациональные, наименее утомительные.

Устройства документирования и другие, нечасто используемые технические средства, расположены справа от оператора в зоне максимальной досягаемости, а средства связи слева, чтобы освободить правую руку для записей.[16]

#### **4. 2 Пожарная безопасность на центральной станции HUB**

Требования в центральной станции HUB к системе пожарной охраны: высокая надежность, быстрое срабатывание, для ручной системы: удобство в использовании; расположение в соответствии с требованиями пожарных нормативов [23].

В зависимости от технологических процессов, по взрывоопасной и пожарной опасности помещения и здания подразделяются на пять категорий: А, Б, В, Г, Д.

Объекты связи HUB относятся к категории В. К категории В относятся помещения, в которых на половине площади производственного помещения технологический процесс связан с применением твердых сгораемых веществ и материалов с температурой вспышки паров 61<sup>0</sup>С, горючей пыли с нижним концентрационным пределом воспламенения более 65 г/куб. м.

Причины пожаров являются электрического и неэлектрического характеров. К причинам электрического характера относят искрение в электрических аппаратах, токи коротких замыканий и значительные перегрузки проводов и обмоток электрических устройств, вызывающие их нагрев до высокой температуры, плохие контакты в местах соединения проводов, приводящие к увеличению переходного сопротивления, на котором выделяется большое количества тепла, электрическая дуга, возникающая во время дуговой электрической сварки или в результате ошибочных операций с коммутационной аппаратурой, выделение кислорода и водорода при зарядке аккумуляторных батарей.

Причиной пожаров неэлектрического характера является неправильное обращение с аппаратурой газовой сварки и паяльными лампами, а так же неправильное разогревание кабельных масс и пропиточных составов, неисправность отопительных приборов и нарушение режимов их работы, неисправность производственного оборудования и нарушения технологического процесса, в результате которого возможно выделение горючих газов, паров и пыли в окружающую среду, курение в непредназначенных для этого местах, самовоспламенение оборудования.

Пожар, возникающий на предприятии связи, приводит к выходу из строя установок и аппаратуры связи и уничтожению материальных ценностей. Пожар часто угрожает жизни и здоровью людей.

На предприятии связи устанавливается электрическая пожарная сигнализация, к которой относятся:

Приборы - извещатели, устанавливаемые на территории предприятия; приёмные пункты пожарной сигнализации; электропроводная сеть, соединяющая все извещатели с приёмной станцией.

Извещатели пожара делятся на извещатели ручного действия, предназначенные для выдачи дискретного сигнала при нажатии соответствующей пусковой кнопки, и извещатели автоматического действия - для выдачи дискретного сигнала при достижении заданного значения физического параметра.

Автоматические извещатели монтируются, как правило, на потолках помещений, а также в нишах стен и перекрытий, на оборудовании.

Извещатели устанавливаются в зоне наиболее вероятного загорания и в местах возможного скопления горячего воздуха и дыма, на пути следования конвективных потоков продуктов горения. При этом следует учитывать потоки воздуха, вызванные приточной или вытяжной вентиляцией.

Приёмные пункты пожарной сигнализации устанавливаются в помещениях пожарной или сторожевой охраны или в других помещениях с круглосуточным дежурством.

К линейным сооружениям пожарной сигнализации относятся кабели и провода, прокладываемые от извещателей до приёмных пультов, а также распределительные и оконечные устройства.

Для системы пожарной сигнализации используются кабели комплексной системы слаботочной сети или самостоятельные кабели. Кабели за пределами зданий прокладывают в телефонных траншеях. Внутри здания - на высоте не менее 2,5 метров (по бортам, карнизам). Во взрывоопасных помещениях кабели прокладывают в газовых трубах. Исправность систем пожарной сигнализации в процессе их эксплуатации контролируют специалисты пожарного контроля.[17]

Для тушения электроустановок, находящихся под напряжением, нельзя применять воду без специальных мер защиты людей от поражения электрическим током через струю воды.

Пожарные краны размещены на лестничных клетках, в коридорах зданий и установлены на высоте 1,35 м от пола. Вместе с пожарными рукавами и стволом они помещаются в специальный шкаф или нишу.

Для тушения пожаров в закрытых помещениях применяется водяной пар, который используется для тушения различных твёрдых и жидких веществ.

Огнегасительные свойства водяного пара заключаются в разбавлении им воздуха, в результате чего снижается концентрация кислорода и температура горящего вещества, концентрация водяного пара в воздухе при

тушении огня равна 35Уо по объёму.

Для тушения электроустановок эффективным химическим средством является углекислота. При быстром испарении углекислоты образуется снегообразная масса, которая, будучи направлена в зону пожара, снижает концентрацию кислорода и охлаждает горящее вещество.

В HUB устанавливается пожарный извещатель. Площадь, контролируемая одним дымовым пожарным извещателем и стеной не превышает величин, указанных в технических условиях на извещатели.

#### **4.3 Разработка молниезащиты HUB**

В результате движения воздушных потоков, насыщенных водяными парами, образуются грозовые облака, являющиеся носителями статического электричества. Электрические разряды образуются между разноименными заряженными облаками или, чаще, между заряженным облаком и землей.

Так как на станции HUB установлена антенна, используется молниезащита.

Для приема электрического разряда молнии и отвода её в землю применяют молниеотводы. Молниеотвод состоит из несущей части – опоры, молниеприемника, токоотвода и заземления [24].

При выполнении молниезащиты для повышения безопасности людей заземленные молниеотводы размещены в редко посещаемых местах, в удалении на 5 метров и более от грунтовых, проезжих и пешеходных дорог.[18]

Для защиты от проявления электростатической индукции металлические корпуса всего оборудования присоединены к специальному защитному заземлению местной электросети.

Степень взрывопожароопасности объектов оценивается по классификации Правил устройства электроустановок (ПУЭ). Инструкция по проектированию и устройству молниезащиты СН 305— 77 устанавливает три категории устройства молниезащиты (I, II, III) и два типа (А и Б) зон защиты объектов от прямых ударов молнии. Зона защиты типа А обеспечивает перехват на пути к защищаемому объекту не менее 99,5 % молний, а типа Б — не менее 95 %.

Объекты I категории молниезащиты защищают от прямых ударов молнии отдельно стоящими стержневыми, тросовыми молниеотводами или молниеотводами, устанавливаемыми на защищаемом объекте, но электрически изолированными от него.

Отдельно стоящий стержневой молниеотвод (рисунок 5.3) состоит из опоры 1 (высотой 25 м — из дерева, 5м — из металла), токоотвод 2 (сечением 50 мм<sup>2</sup>) и заземлитель 4.

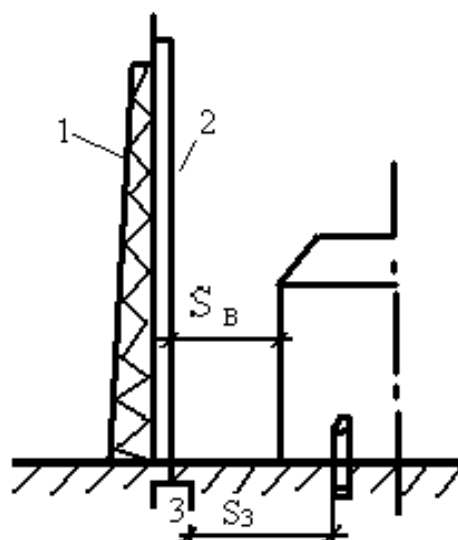


Рисунок 4.2 — Расположение молниеотвода

При установке молниеотвода на здании обеспечивается безопасное расстояние  $S_{\text{в}}$  по воздуху между токоотводом и защищаемым объектом, исключающее возможность электроразряда между ними. Кроме того, для предупреждения заноса высоких потенциалов через грунт обеспечено безопасное расстояние  $S_{\text{з}}$  между заземлителем и металлокоммуникациями, входящими в здание, оно равно  $S_{\text{з}} = 0,5 R_{\text{и}}$  и равно 3 м;  $R_{\text{и}}$  — импульсное электросопротивление заземлителя.

В качестве токоотводов используются металлические конструкции зданий и сооружений, вплоть до пожарных лестниц на зданиях. Импульсное сопротивление каждого заземлителя 10 Ом, для наружных установок — 50 Ом.

На центральной станции HUB используется молниезащита отдельно стоящего стержневого молниеотвода.

#### **4.4 Технические решения обеспечения безопасности жизнедеятельности**

Расчет воздухообмена в помещениях HUB

Расчет воздухообмена произведено по методическому указанию [25].

Так в разделе безопасности жизнедеятельности рассматриваются вопросы, связанные с охраной труда работников операторской. Поскольку от станции выделяется тепло и рабочие температуры станции от 0°C до 50°C, и работа относится к работам средней тяжести, поддерживается среднегодовая температура 23°C, путем установления кондиционера. Расчет воздухообмена в помещениях HUB, генераторных и др., где выделяется значительный избыток тепла, производится таким образом, чтобы определить количество воздуха, необходимое для охлаждения избытка тепла  $Q_{\text{изб}}$ . Для этого используется формула (5.1) [19]:



$$L = \frac{Q_{изб}}{C_v(t_{yx} - t_{bx}) * r_b}, \quad (4.1)$$

где  $C_v=0,24$  ккал/кг×град - теплоемкость воздуха;

$t_{yx}$  - температура уходящего воздуха;

$t_{bx}$  - температура поступающего воздуха;

$r_b=1,206$  кг/м<sup>3</sup> - плотность воздуха.

Избыточное тепло можно найти по формуле (5.2) :

$$Q_{изб}=Q_{об}+Q_{л}+Q_{р}-Q_{от}, \quad (4.2)$$

где  $Q_{об}$  - тепло, выделяемое оборудованием;

$Q_{л}$  - тепло, выделяемое людьми;

$Q_{р}$  - тепло, вносимое солнечной радиацией;

$Q_{от}$  - теплоотдача в окружающую среду.

Для HUB значением  $Q_{л}$  можно пренебречь ( $Q_{л}=0$ ), а значения  $Q_{р}$  и  $Q_{от}$  примерно равны, и в результате избыток тепла образуется только за счет тепла, выделяемого оборудованием:  $Q_{изб}=Q_{об}$ .

Значение  $Q_{об}$  можно определить из соотношения (4.3) :

$$Q_{об}=860 \times P_{об} \times n., \quad (4.3)$$

где 860 - тепловой эквивалент 1 кВт ч;

$P_{об}$  - потребляемая мощность (для оборудования i-Direct – 3,4 кВт/ч) ;

$n$  - коэффициент перехода тепла в помещении (для HUB он составляет 0,95).

Определим значение

$$Q_{об}: Q_{об}=860 \times 3,4 \times 0,95=2777,8, \text{ ккал/ч}.$$

По формуле (5.4) найдем количество воздуха, которое нужно будет охладить в данном помещении :

$$Q_H = \frac{Q_u}{Vn}, \quad (4.4)$$

где  $Vn$  – объем помещения HUB –126 м<sup>3</sup>;

$$Q_H = \frac{2777,8}{126} = 22, \text{ ккал/ч}.$$

Отсюда, количество воздуха, которое необходимо удалить из помещения: для HUB величина  $t$  при расчетах выбирается в зависимости от теплонапряженности воздуха:

если теплонапряженность воздуха  $Q_n < 20$  ккал/ч, то принимаем  $t = 6^\circ\text{C}$ , а при  $Q_n > 20$   $t = 8^\circ\text{C}$  и расчет произведем по формуле (4.5)

$$L_v = \frac{2777,8}{0,24 \times (29 - 23) \times 1,206} = 1605, \text{ м}^3 / \text{ч}.$$

Кратность воздухообмена  $K V_n$  (в HUB аппаратуры i-Direct –  $126 \text{ м}^3$ ):

$$E = 1605 / 126 = 12,71, \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Таким образом, в помещении HUB для охлаждения избыточного тепла, выделяемого оборудованием, поддерживается воздухообмен с кратностью 12,7.

Согласно расчету, выбираем тип кондиционера фирмы TRANE, модель WCD – 60 :

Таблица 4.1 – Техническая характеристика кондиционера

Модель кондиционера	WCD – 60
Мощность охлаждения ,( кВт)	18,5
Мощность нагрева ,( кВт)	15,1
Ток полной нагрузки ,( А)	15
Воздушный номинальный поток ,(м <sup>3</sup> /ч)	3570
Режим работы	Непрерывный

Выбранный кондиционер уличный, прикрепляется на стену с помощью специального крепления. Кондиционирование воздуха происходит через специальные короба, которые устанавливаются на уровне подвесного потолка. Современный многофункциональный прибор, сочетающий очистку[20]

#### 4.2.2 Расчет освещения рабочего места

Расчет искусственного освещения произведено по методическому указанию [26,27]. Работа, выполняемая с использованием вычислительной техники, имеют следующие недостатки:

- вероятность появления прямой блескости;
- ухудшенная контрастность между изображением и фоном;
- отражение экрана.

В связи с тем, что естественное освещение слабое, на рабочем применяется также искусственное освещение.

Размещение светильников определяется следующими размерами:

$H = 3$  м. - высота помещения

$h_c = 0,25$  м. - расстояние светильников от перекрытия

$h_n = H - h_c = 3 - 0,25 = 2,75$  м. - высота светильников над полом

$h_p$  = высота расчетной поверхности = 0,7 м

$h = h_n - h_p = 2,75 - 0,7 = 2,05$  - расчетная высота.

Светильника типа ЛДР (2x40 Вт). Длина 1,24 м, ширина 0,27 м, высота 0,10 м.  $L$  - расстояние между соседними светильниками (рядами люминесцентных светильников),  $La$  (по длине помещения) = 1,76 м,  $Lв$  (по ширине помещения) = 3 м.  $l$  - расстояние от крайних светильников или рядов светильников до стены,  $l = 0,3 - 0,5L$ .

$la = 0,5La$ ,  $lv = 0,3Lv$ ,

$la = 0,88$  м.,  $lv = 0,73$ , м.

Светильники с люминесцентными лампами в помещениях для работы рекомендуют устанавливать рядами.

Метод коэффициента использования светового потока предназначен для расчета общего равномерного освещения горизонтальных поверхностей при отсутствии крупных затемняющих предметов. Потребный поток ламп в каждом светильнике

$$\Phi = E * r * S * z / N * \eta,$$

где  $E$  - заданная минимальная освещенность = 300 лк., т.к. разряд зрительных работ = 3

$r$  - коэффициент запаса = 1,3 (для помещений, связанных с работой ПЭВМ)

$S$  - освещаемая площадь = 30 м<sup>2</sup>.

$z$  - характеризует неравномерное освещение,  $z = E_{ср} / E_{min}$  - зависит от отношения  $\lambda = L/h$ ,  $\lambda a = La/h = 0,6$ ,  $\lambda в = Lv/h = 1,5$ . Т.к.  $\lambda$  превышают допустимых значений, то  $z = 1,1$  (для люминесцентных ламп).

$N$  - число светильников, намечаемое до расчета. Первоначально намечается число рядов  $n$ , которое подставляется вместо  $N$ . Тогда  $\Phi$  - поток ламп одного ряда.

$N = \Phi / \Phi I$ , где  $\Phi I$  - поток ламп в каждом светильнике.

$\eta$  - коэффициент использования. Для его нахождения выбирают индекс помещения  $i$  и предположительно оцениваются коэффициенты отражения поверхностей помещения  $\rho_{пот.}$  (потолка) = 70%,  $\rho_{ст.}$  (стены) = 50%,  $\rho_{р.}$  (пола) = 30%.

$$\Phi = 300 * 1,3 * 25 * 1,1 / 2 * 0,3 = 21450, \text{ лм.}$$

Светильники встраиваются в ряд, так как длина ряда около 4 м. Применяем светильники с лампами 2x40 Вт с общим потоком 5700 лм. Схема расположения светильников представлена на рисунке 4.3

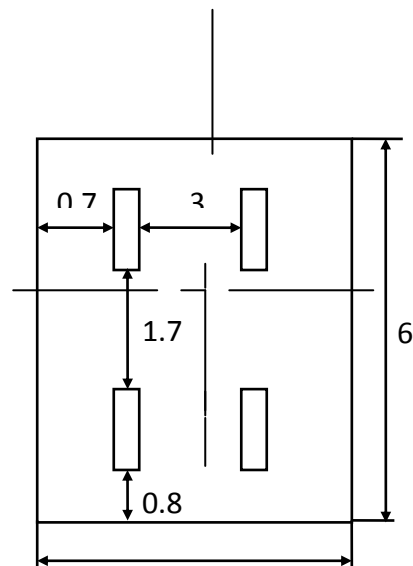


Рисунок 4.3— Схема расположения светильников

#### 4.5 Расчет количества извещателей ДИП-3

Расчет количества извещателей произведено по методическому указанию [28]. В качестве извещателя будем использовать дымовой пожарный извещатель ДИП-3.

При высоте НУВ 3,5 м, площадь, контролируемая одним извещателем, составляет 10 м<sup>2</sup>.

Определим количество ДИП-3 по формуле:

$$M = \text{Ц} \times [S/S_0], \quad (4.6)$$

где Ц - округление до большего ближайшего целого числа;

S - площадь НУВ, м<sup>2</sup>;

S<sub>0</sub> - площадь, контролируемая одним ДИП-3, м<sup>2</sup>.

$$M = \text{Ц} \times [36/10] = 4, \text{ шт.}$$

Исходя из практического опыта приходим к выводу, что извещателей требуется больше, чем 4 штук. Разместим извещатели следующим образом. Это оптимальное расположение извещателей, их оказалось 6.[21]

## Заключение

Строящиеся в последнее время оптоволоконные системы доступа основываются на различных архитектурах и технологиях. Тщательно продуманные стандарты для этих технологий и доступность необходимого оборудования определяют построение сетей операторов без большого риска. Успешность деятельности интернет операторов - стимул для динамичного развития этой отрасли. Можно предположить, что конкурентное давление со стороны сетей такого типа будет стимулировать крупных операторов связи инвестировать средства в оптоволоконные сети доступа.

Внедрение сетей PON – пассивных оптических сетей операторами связи, связано в первую очередь с уже имеющейся инфраструктурой, с тем что возможно сокращение точек присутствия, прогнозируемых большим процентом подписки абонентов на многие сервисы..

В последние годы увеличиваются тенденции к персонализации получения данных для абонентов широкополосных сетей и повышению их надежности. Поэтому имеет место расширение использования сетей Ethernet FTTH, PON.

Данные технологии, несмотря на их недостатки, представляют большой интерес для сервис-операторов и имеют перспективы развития, т.к. они позволяют персонализировать услуги и предоставят широкие возможности для увеличению полосы пропускания и передачи любой информации в том числе передачу голоса и трансляцию видео высокого качества, и приобретающих в последние году популярность интерактивных управляемых услуг.

За последнее время достигнуты значительные успехи в создании более новых и перспективных средств связи, для повышения качества и эффективности передачи различного рода информации, расширяющих услуги связи, считающих материало- и трудоемкость в отрасли. К ним можно отнести– волоконно-оптические системы передачи (ВОСП). Использование таких систем предопределяет развитие радиоэлектроники, атомной энергетики, освоение космос помимо телекоммуникационной отрасли. Создание и применение ВОСП ведется во всех экономически развитых странах мира.

За последние годы обмен информацией стал основной потребностью человека. Необходимость в высоких скоростях, в большей пропускной способности сильно ощущается во многих странах мира. Оптика является одним из лучших решений для передачи больших объемов информации.

В данной работе была рассмотрена краткая история развития и современное состояние абонентских линий связи. Представлен анализ принципов построения и работы сети на основе PON и приведены характеристики сети РО

## Список литературы

- 1.Макаренко С.И.Вычислительные системы, сети и телекоммуникации :учебное пособие.-Ставраполь,2008-352 с.
- 2.Теория телекоммуникационных систем и сетей. Курс дистанционного обучения СибГУТИ.-2013.-URL
- 3.Барабаш П.,Воробьев С., Махровский О.Новые времена, новые сети. Каталог технологии и средства связи.-2008.-URL
- 4.Ги Кайя. Об абонентском абоненте. Сети и системы связи.-1996.-№6
- 5.Горнак А.М. Организация доступа на базе xDSL:современные технологии//Технологии и средства связи. Спец.выпуск. Системы абонентского доступа-2004.
6. Барабаш П.,Воробьев С., Махровский О.Проводные технологии сетей абонентского доступа: принципы построения и квалификации. Каталог технологии и средства связи.-2008.-URL
- 7.Современные технологии доступа в сеть Интернет. Технологии DSL(Электронный ресурс 1.09.2013.)
- 8.Макаренко С.И.Системы многоканальной связи. Вторичные сети и сети абонентского доступа.-2014.-179с.
- 9.Скляр О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи: аппаратура и элементы. – М: СОЛОН-Р, 2001. – 237 с.
6. SIEMENS «Синхронная волоконно-оптическая система SL4», версия 1. Издано: Public Communication Network Group Business Unit Transport Networks,1998г.
10. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. – М: Энергоатомиздат. 1984. – 448 с
11. 15. Е. А. Голубицкая, Г.М. Жигульская. Экономика связи: Учебник для вузов. — М.: Радио и связь,2000
16. Белов С.В. «Безопасность жизнедеятельности для ВУЗа», М.: 2002
17. Арустамов Э.А. «Безопасность жизнедеятельности для ВУЗа», М.: 2000 г.
18. Пожарная безопасность. Взрывоопасность. Справочник/ Под ред. А.Н. Баратова — М.: Химия, 1988
19. Хакимжанов Т.Е. «БЖД. Расчет аспирационных систем», Алматы 2002г.
20. Производственное освещение: Методическое указание к выполнению дипломного проекта / Л.П. Кошулько, Н.Г. Суляева, А.А. Генбач —Алма-Ата: РУМК, 1989.-40с
21. СНиП РК 2.04-05-2002. Естественное и искусственное освещение. Общие требования, Астана, 2002
22. Иванов Е.Н. Расчет и проектирование систем противопожарной защиты — М.: Химия,1990 ,«Сети и системы связи» №10; 2003 г.

## Приложение А Результаты расчетов

$$N1 := 1.46$$

$$N2 := 1.457$$

$$\lambda := 0.85$$

$$k := 0.01, 0.02 \dots 1$$

$$\Delta\beta := \frac{2 \cdot \pi \cdot (N1 - N2)}{\lambda}$$

$$\delta := \frac{\Delta\beta}{2}$$

$$n := 1$$

$$kL := (2n + 1) \frac{\pi}{2}$$

$$\eta(k) := \frac{1}{1 + \left(\frac{\delta}{k}\right)^2} \cdot \sin \left[ kL \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\delta}{k}\right)^2} \right]^2$$

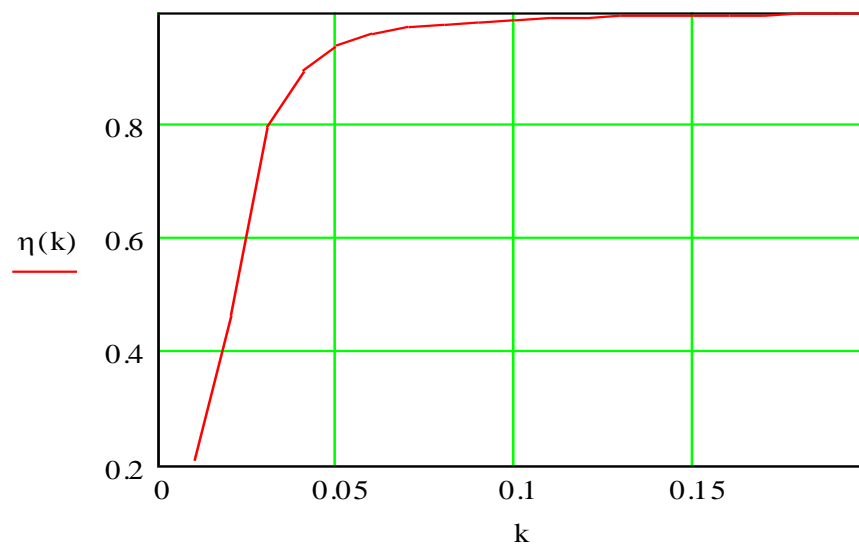


Рисунок А1- Результаты расчетов

## Приложение В Результаты расчетов

$$N1 := 1.46$$

$$N2 := 1.457$$

$$\lambda := 0.85$$

$$\delta := 0.01, 0.02 \dots 1$$

$$\Delta\beta := \frac{2 \cdot \pi \cdot (N1 - N2)}{\lambda}$$

$$k := 0.4$$

$$n := 1$$

$$kL := (2n + 1) \frac{\pi}{2}$$

$$\eta(\delta) := \frac{1}{1 + \left(\frac{\delta}{k}\right)^2} \cdot \sin \left[ kL \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{\delta}{k}\right)^2} \right]^2$$

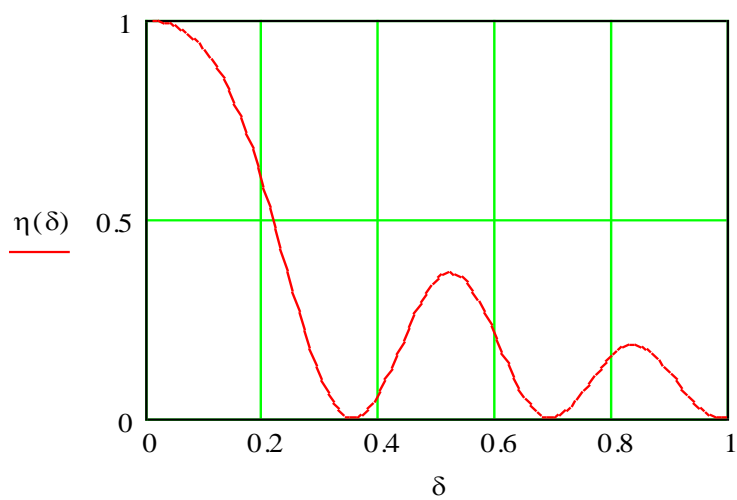


Рисунок В1- Результаты расчетов