

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

кафедра Автоматической электросвязи

«Допущен к защите»
Заведующий кафедрой АЭС
Чечимбаева К.С., к.т.н., доцент
(Ф.И.О., ученая степень, звание)

« _____ » _____ 20__ г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему: Построение сети GPRS в г. Тараз

Специальность 5В071900-Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Выполнил (а) Альбекова А.Р. СТК-10-05
(Фамилия и инициалы) группа

Научный руководитель Байкенов А.С., к.т.н., профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)

Консультанты:

по экономической части:

Бабич А.А., ст. преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
Бабич « 11 » мая 2014 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:

Санатова Т.С., к.т.н., доцент
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
Санатова « 6 » мая 2014 г.
(подпись)

по применению вычислительной техники:

Тущанбаева К.Ж., к.т.н., профессор
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
Тущанбаева « 23 » мая 2014 г.
(подпись)

Нормоконтролер: Абиров Д.А., ст. преподаватель
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
Абиров « 04 » мая 2014 г.
(подпись)

Рецензент: _____
(Фамилия и инициалы, ученая степень, звание)
« _____ » _____ 2014 г.
(подпись)

Алматы 2014 г.

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Факультет Радиотехники и связи
Специальность 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Кафедра Автоматической электросвязи

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Студент Альбекова Алина Риматовна
(фамилия, имя, отчество)

Тема проекта Построение сети GPON в г. Тараз

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

Срок сдачи законченной работы «21» мая 2014 г.

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

Схема расположения домов (номера домов: 1, 2, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 21, 23, 25, 26(1, 2)) проектируемого района-кластера "Псамая" г. Тараз, существующая кабельная канализация, допустимые оптические потери не превышают оптический бюджет мощности приемопередающего оборудования (OLT HI-FOCUS 5F152-HB, ONT B-FOCUS 0-462PW/0-4F2PW), протяженность линии связи $L=3,697$ км, используемые длины волн 1310/1490 нм, суммарный коэффициент ветвления 1:32

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

- 1) Анализ существующей сети связи, описание особенностей GPON
- 2) Выбор топологии сети, проектирование станционного, магистрального, распределительного, абонентского участков
- 3) Выбор активного оборудования, пассивных компонентов, кабеля
- 4) Расчет параметров оптического, оптического бюджета, участка регенерации, оценка надежности оптического кабеля, написание программы на языке Borland Delphi 7.0 для расчета losses пропускания и реальной нагрузки, создаваемой абонентами
- 5) Расчет вопросов БТН: анализ условий труда на оптоковом АТС-34 г. Тараз, разработка мероприятий по улучшению условий труда, микроклимат, расчет санитарно-защитной зоны внешней установки АТС-34
- 6) Бизнес-план проекта создания сети GPON в г. Тараз

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

- 1) схема кроссировочного соединения на КРОССе, ул. Кереева, 5, 1. Жарас (линейные сооружения)
- 2) схема привода мурты ОМР-34-15, ул. Кереева 5 в шахте
- 3) схема разветвительной мурты ОМР-34-15 в систровой устройстве п 315/602, схема разветвительной мурты ОМР-34-15/1 в систровой устройстве п 315/615
- 4) схема кроссировочного соединения на ОРК-с, мкр. "Жанса" номера домов: 1, 2, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 21, 23, 25, 26 (1, 2)
- 5) схема распределительной сети РОН-34-15 от АТС-34 до п 315/643 (линейные сооружения)
- 6) схема распределительной сети РОН-34-15 мкр. "Жанса" от п 315/643 до 15 домов мкр. "Жанса" (линейные сооружения)
- 7) схема расположения домов проектируемого района кластера
- 8) план расположения сооружений и трассы прокладки кабеля (ул. Кереева, шахта)

Рекомендуемая основная литература

- 1) Алексеев В.Б. Оптические сети доступа. Учебное пособие - М: МПК при МГУСН, 2005 - 140с.
- 2) Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. - М: Экспресс, 2000 - 267с.
- 3) Жарас А.Д. Пассивные оптические сети: схемы и алгоритмы в активе "Сети и телекоммуникации", 2007, №4
- 4) Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи. Учебное пособие для вузов - М: Радио и связь, 1990 - 224с.
- 5) Рекомендация ИТТ-Т В. 924.2 (03/2003). Пассивные волоконно-оптические сети с поддержкой многолучевых скоростей передачи (B-PON)
- 6) Саматова Т.С. Методические указания к выполнению РГР-Анноты, АУУС, 1999
- 7) Галушницкая Е.А. Экономическая связь. Учебник для вузов - М: Радио и связь, 1999

Консультанты по проекту с указанием относящихся к ним разделов

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
Безопасность жизнедеятельности	к.т.н., доцент Санатова Т.С.	22.04-25.05.2014	Санатова
Экономическая часть	ст. преподаватель Байит А.А.	20.04-11.05.2014	Байит
Применение ВТ	к.т.н., профессор Шушабаев К.К.	14.05-23.05.2014	Шушабаев
Основная часть	к.т.н., профессор Байтенов А.С.	24.09.2013-20.05.2014	Байтенов
Нормоконтроль	ст. преподаватель Абулбаев А.	06.06.2014	Абулбаев

Г Р А Ф И К
подготовки дипломного проекта

№ п/п	Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
1.	Введение	24.09.13-15.10.13	выполнено
2.	Анализ существующей сети связи 2. плана; обзор технологий ИТЭ, вариантов архитектуры FTTx, технологий PON, особенностей принципа работы технологии GPON		
3.	Проектирование сети доступа ВРОП: выбор топологии сети, разработка структуры и схем проектируемой сети, разработка схем агрегирования каналов и обслуживания для мультимедийного, мультимедийного, мультимедийного и мультимедийного участков, построение терминалов проектируемых сетей на КРССе и ОРК-с, проектирование и проектирование сетей ИТЭ, мультимедийной сети PON-34-15 от АТС-34 до 11 мкр. в среде AutoCAD и NanoCAD	21.01.14-1.03.14	выполнено
4.	Обслуживание проектируемой сети ВРОП, выбор активного оборудования, настройка коммутаторов, каналов	2.03.14-1.04.14	выполнено
5.	Техническая часть проектируемой сети доступа ВРОП, разработка проектных на чертежи 7.0	2.04.14-23.05.14	выполнено
6.	Защита отечественной мультимедийной сети	22.04.14-6.05.14	выполнено
7.	Бизнес-план	20.04.14-11.05.14	выполнено

Дата выдачи задания «24» сентября 2013 г.

Заведующий кафедрой _____ Утемишбаева К.С.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Руководитель _____ Байкенов А.С.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Задание принял к исполнению студент _____ Альбекова А.Р.
(подпись) (Фамилия и инициалы)

Андатпа

Берілген дипломдық жобада Тараз қаласындағы GPON жүйесін құрастыру қарастырылады. GPON технологиясының ерекшелігі мен жұмыс қағидаттарына талдау жүргізілген. Тараз қаласындағы «Жансая» ықшам ауданы үшін желіні ұйымдастыру жобасы келтірілген, жабдықты таңдау іске асырылған. Оптикалық талшықтың параметрлерінің, оптикалық бюджетінің, регенерациялық участкенің, жүйесінің сенімділігінің есептеулері жүргізілген. Өткізу алқабы және GPON желісінің абоненттерден түсетін нақты жүктеменің есебін жеңілдету үшін Borland Delphi 7 есептеу бағдарламасы жасалған.

Жұмыста негізгі бөлімнен басқа өміртіршілік қауіпсіздігі және GPON жүйесі жобасының бизнес-жоспары келтірілген.

Аннотация

В нижеследующем дипломном проекте рассматривается построение сети GPON в городе Тараз. Проанализированы особенности и принципы работы технологии GPON. Разработана схема организации распределительной сети PON-34-15 для микрорайона «Жансая» города Тараз, выбрано оборудование. Выполнены расчёты параметров оптоволокна, оптического бюджета, регенерационного участка, надёжности системы. Для упрощения расчёта полосы пропускания и реальной нагрузки, поступающей от абонентов сети GPON, разработана программа расчёта Borland Delphi 7.

В проекте помимо технической части рассмотрены меры безопасности жизнедеятельности, бизнес-план проекта сети GPON.

Содержание

Введение.....	8
1 Организация сети GPON	9
1.1 Обзор существующей сети связи города Тараз	9
1.2 Организация сервисов (услуг) в мультисервисной сети.....	11
1.3 Обзор технологий широкополосного доступа	14
1.4 Технология GPON. Особенности технологии, принципы работы...	19
1.5 Постановка задачи	24
2 Проектирование гигабитной оптической сети GPON	25
2.1 Выбор топологии сети доступа	25
2.2 Разработка структурной схемы проектируемой сети доступа	29
2.3 Разработка схем распределения кабелей и оборудования.....	31
3 Оборудование проектируемой сети доступа GPON	41
3.1 Выбор производителя оборудования	41
3.2 Техническое решение по построению сети GPON.....	43
3.3 Техническое описание OLT HI-FOCUS 5 F-152-HB	45
3.4 Техническое описание ONT B-FOCUS O-4G2PW/ O-4F2PW	48
3.5 Пассивные компоненты сети GPON	49
3.6 Волоконно-оптические кабели для построения сети GPON	51
4 Технический расчёт проектируемой сети доступа GPON	53
4.1 Расчёт основных параметров оптического волокна	53
4.2 Расчёт оптического бюджета при построении PON дерева	56
4.3 Расчёт участка регенерации	61
4.4 Оценка надёжности оптического кабеля	62
4.5 Требования к полосе пропускания для реализации Triple Play	66
4.6 Расчёт реальной нагрузки, создаваемой абонентами GPON	68
4.7 Описание интерфейса программы	71
5 Безопасность жизнедеятельности.....	74
5.1 Анализ условий труда.....	74
5.2 Выработка мероприятий по улучшению трудовых условий.....	76
5.3 Расчёт санитарно-защитной зоны	79
6 Бизнес-план.....	83
6.1 Цель и задачи проекта	83
6.2 Компания и отрасль	83
6.3 Описание продукции (услуг)	83
6.4 Анализ рынка.....	85
6.5 Менеджмент	85
6.6 План маркетинга	86
6.7 Финансовый план.....	86
Заключение	94
Список литературы	95
ПРИЛОЖЕНИЕ А	97

ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	100	Ошибка! Закладка не определена.
ПРИЛОЖЕНИЕ В	101	
ПРИЛОЖЕНИЕ Г.....	102	
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	103	Ошибка! Закладка не определена.
ПРИЛОЖЕНИЕ Е.....		Ошибка! Закладка не определена.
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж		Ошибка! Закладка не определена.
ПРИЛОЖЕНИЕ И		Ошибка! Закладка не определена.
ПРИЛОЖЕНИЕ К		Ошибка! Закладка не определена.
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	111	
ПРИЛОЖЕНИЕ М		Ошибка! Закладка не определена.
ПРИЛОЖЕНИЕ Н		Ошибка! Закладка не определена.
ПРИЛОЖЕНИЕ П		Ошибка! Закладка не определена.
ПРИЛОЖЕНИЕ Р.....	116	

Введение

Развитие Интернет-сети сопровождается появлением широкого диапазона новых сложных услуг и сервисов, требующих более широкой полосы пропускания и быстрой производительности. Операторские сети доступа должны обеспечивать соответствие требованиям услуг в отношении ёмкости и скорости. Услуги реализуются на базе различных технологий широкополосной передачи данных, являющихся самым быстрорастущим сектором телекоммуникаций.

Медные, беспроводные и кабельные сети DOCSIS, которые в прошлом были хороши, являются препятствием в дальнейшем развитии инфотелекоммуникационных технологий и инновационных разработок по причине физического предела в среде этих сетей. Высокая пропускная способность оптической сети FTTH на основе технологии GPON, отсутствие каких-либо существенных ограничений, поддержка разнообразных услуг делают её единственной на настоящий момент привлекательной и перспективной в развитии новейших телекоммуникационных сервисов сетью.

Основная цель дипломного проекта - построение сети GPON в городе Тараз, 100 % подключение абонентов в 15 домах (848 квартир) микрорайона Жансая к услуге Triple Play (IPTV, HSI, телефония).

До запуска сети FTTH последние мили были организованы на базе уже существующей сети – медных кабелей на базе технологии xDSL, и абонентам предоставлялись 2 услуги: традиционная телефонная связь и Интернет-доступ. Актуальность проекта заключается в том, что в Жамбылском филиале «Казахтелеком» возникла необходимость построения новой сети в связи с вводом услуг Triple Play, и на сегодняшний момент предоставлять одновременно 3 услуги абонентам города Тараз одновременно 3 услуги посредством xDSL-технологии массово не предоставляется возможным. Данный функционал реализуем на базе технологии GPON, причём прокладка оптоволоконной линии происходит до квартиры (FTTH) в конкретном случае по Жамбылскому филиалу.

Объектом дипломного исследования является участок сети – район-кластер «Жансая», для которого требуется спроектировать сеть GPON.

Задачами проекта являются изучение особенностей технологии GPON являются сравнение технологий ШПД, изучение особенностей технологии GPON, разработка распределительной сети проектируемого района, проектирование станционного, линейного и абонентского участков сети, выбор топологии и оборудования, технический расчёт проектируемой сети.

Данные вопросы нашли отражение в работах Алексеева Е.Б., Караса А.Д., Суховерхова А.Е., Убайдуллаева Р.Р., в статьях зарубежных учёных: Марко Руффины, Линды Дойле, Дон-Су Ли, Чанг-Су Парка и др.

1 Организация сети GPON

1.1 Обзор существующей сети города Тараз

Мультисервисная сеть передачи данных (ПД) города Тараз, предназначена для организации национальным оператором-монополистом АО «Казахтелеком» единой информационно-телекоммуникационной инфраструктуры и передачи различных видов трафика в пределах города Тараз. Архитектура городской сети логически представляет собой трёхуровневую иерархическую схему, изображённую на рисунке 1.1:

- уровень транспортного ядра;
- уровень агрегации;
- уровень доступа.

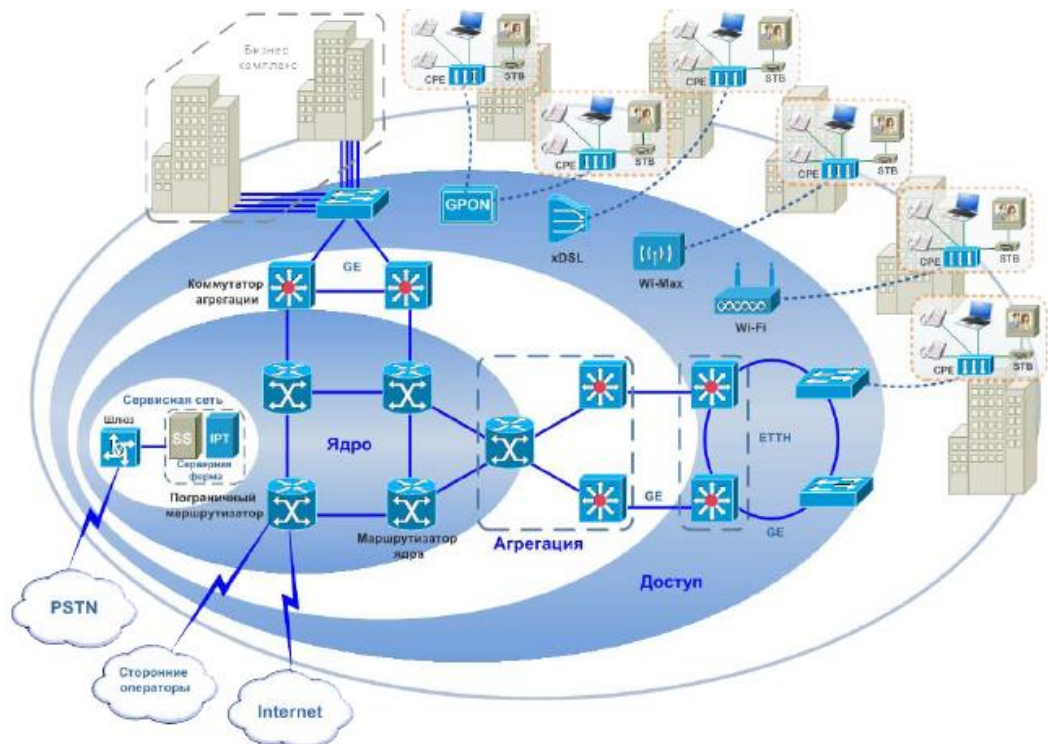


Рисунок 1.1 - Архитектура мультисервисной сети ПД

Уровень транспортного ядра предназначен для высокоскоростной коммутации как пакетного, так и традиционного трафика, и представляет собой опорную сеть Metro Ethernet, построенную по технологии IP/MPLS, при которой мультисервисные IP инфраструктуры связаны между собой по MPLS технологии. Функция MPLS гарантирует качество обслуживания QoS IP-услуг.

Назначение уровня агрегации – объединение коммутаторов доступа посредством коммутатора 3-го уровня модели OSI, обеспечение

функциональности QoS, параметров, необходимых абонентам, связь с межрегиональной сетью. Оптические линии связи соединяют узлы данного уровня с опорными узлами. «Кольцо» - физическая топология прокладки волоконно-оптического кабеля уровня агрегации.

На уровне доступа подключают абонентов к сети. Данный уровень служит для осуществления функций защиты сети, сегментации, фильтрации трафика на 2-м уровне модели OSI. На сети города Тараз, относящейся к сетям нового поколения NGN, используется самое новейшее оборудование. Для построения сети доступа применяются следующие технологии: xDSL, GPON, Wi-Max, Wi-Fi и др., сравнительная характеристика которых приводится далее в главе 1.3. Топология сети доступа должна начинаться и заканчиваться на одном узле агрегации.

На рисунке 1.2 изображена существующая опорная сеть мультисервисной сети абонентского доступа г.Тараз.

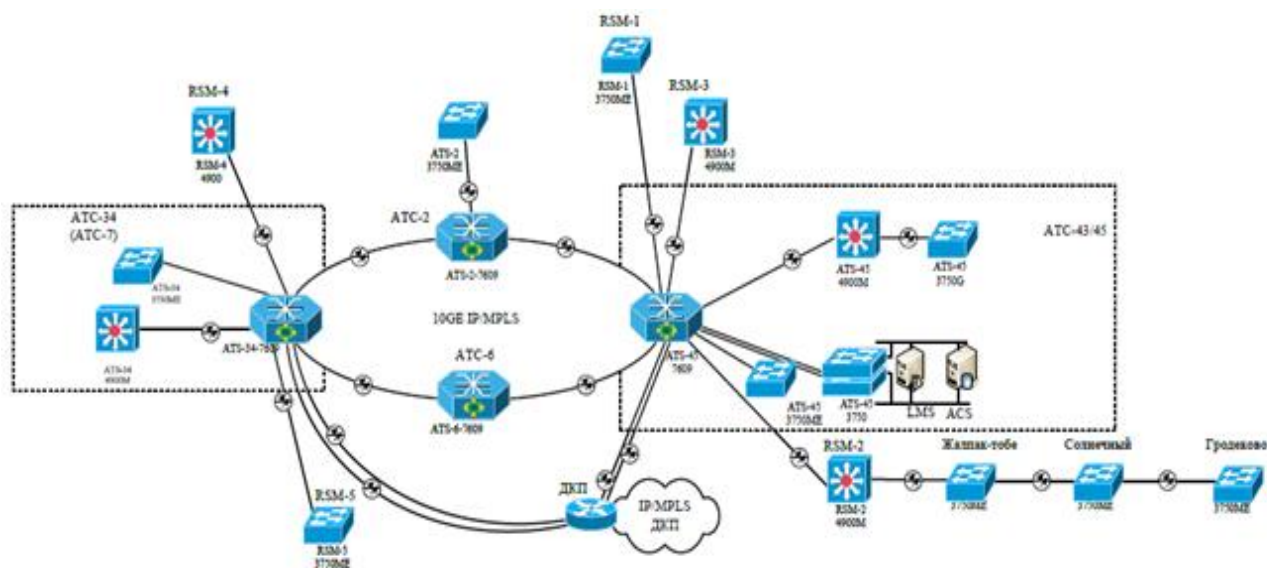


Рисунок 1.2 – Схема организации опорной сети города Тараза (сети Metro Ethernet)

Как показывает рисунок 1.2, сеть образована последовательным соединением узлов типа ring (кольцо), пропускная способность которого равна 1 Гбит/с. В районах, где нет возможности предоставления связи опорной станцией, для подключения удалённых пользователей служат удалённые коммутационные модули RSM, подключенные к опорным станциям, способные функционировать автономно длительное время при нарушении связи со станциями. Так, к ATC-43-45 подключены RSM-1, RSM-2, RSM-3, к ATC-34 RSM-4, RSM-5. Населённые пункты Солнечный, Жалпактобе и Гродеково связаны с RSM-2. Показанная на рисунке 1.1 сеть включает в состав узлы, представленные в таблице 1.1:

Т а б л и ц а 1 . 1 - Структурный состав мультисервисной сети г. Тараз

№	Узел сети	Тип станции	Тип узла доступа по топологии	Ёмкость
1	АТС-2	АТСКУ	В кольцо	2010
2	АТС-6	АТСКУ	В кольцо	2772
3	АТС-7	АТСКУ	В кольцо	6300
4	АТС-34	АТСЭ (DMS 100/200)	В кольцо	10000
5	АТС-43-45	АТСЭ (DMS 100/200)	В кольцо	19100
6	RSM-1	-	Выносной	3095
7	RSM-2	-	Выносной	4473
8	RSM-3	-	Выносной	1917
9	RSM-4	-	Выносной	3834
10	RSM-5	-	Выносной	1710

Численность населения г.Тараз по данным на 01.04.2014 г. составила 350 тыс. человек, поэтому на телефонной сети города принята шестизначная нумерация. Телефонный код города: +77262. В таблице 1.2 представлена существующая на данный момент известная нумерация местной ГТС с указанием нумерации АТС.

Т а б л и ц а 1 . 2 - Нумерация сети г. Тараз

№	№ станции	Ёмкость	Нумерация
1	АТС-2	2010	220000-222009
2	АТС-6	2772	260000-262771
3	АТС-7	6300	270000-276299
4	АТС-34	10000	340000-349999
5	АТС-43-45	19100	430000-439999, 450000-459099

Удалённые коммутационные модули обладают собственным программным обеспечением, отдельным номерным планом, обеспечивающим доступ к операционным системам опорных станций, а также к сетям, где находятся станции.

Мультисервисная платформа сети имеет свойства отказоустойчивости, гибкости и масштабируемости и позволяет внедрять новые виды услуг.

1.2 Организация сервисов (услуг) в мультисервисной сети передачи данных

Операторская сеть доступа должна поддерживать широкий диапазон сложных услуг, а также обеспечивать соответствие требованиям услуг в отношении ёмкости и скорости. Очевидно, что невыгодно и неэффективно строить отдельные сети для отдельных видов трафика, поэтому предпочтительнее построение мультисервисных сетей, имеющих единую

инфраструктуру, позволяющую передавать различный трафик. Единственно верное решение в таком случае - организация интегрированных услуг «Triple Play» (рисунок 1.3).

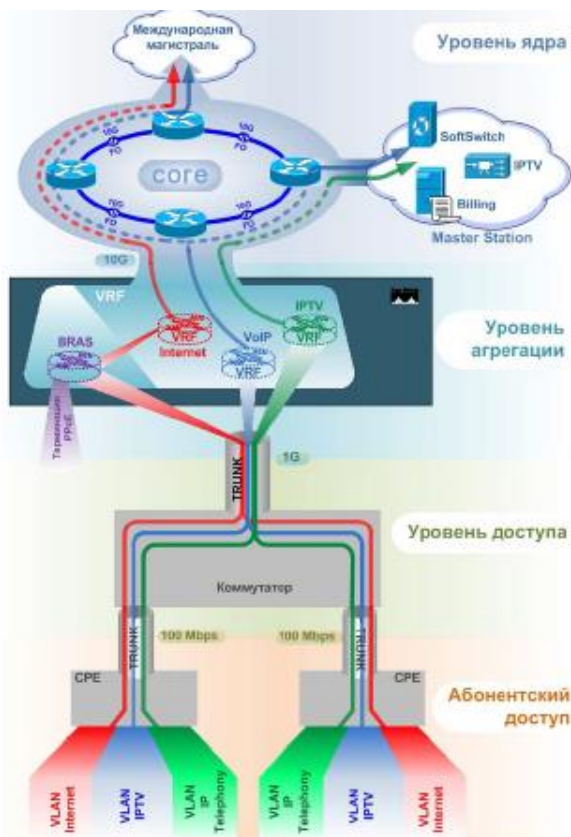


Рисунок 1.3 - Организация сервисов (услуг) в мультисервисной сети ПД

Под этим термином подразумевается тройная услуга, а именно одновременная доставка в одном потоке абоненту голоса, видео, данных. К услугам передачи данных можно отнести высокоскоростной Интернет-доступ (быстрый интернет HSI), доступ к игровым серверам, интерактивные новости, электронный супермаркет, резервное копирование в сети; личные файловые Интернет-ресурсы, виртуальное пространство для сетевых дисков. Сервисы передачи голоса по IP: телефония, услуги голосовой почты, аудиоконференции, аудиообучение, аудиокниги, сетевое IP-радиовещание. Услуги передачи видео: IP-телевещание каналов (IPTV, HD-IPTV), видеотелефония, доступ к PPV (Pay Per View) - платным видеоканалам, интерактивное видеообучение иностранным языкам и другим предметам, сервисы видеотелефонии и видеонаблюдения, игротека (электронные игры), сервис VoD (Video on Demand) - видео по требованию, организация видеоконференц-связи.

Популярность существующих услуг, появление новых сервисов в дальнейшем повлечёт за собой рост трафика. По данным компании CISCO, трафик интернета растёт в год со скоростью более 60%. По прогнозам специалистов, к 2015 году глобальный трафик увеличится в четыре раза по

сравнению с 15 экзабайтами в месяц в 2009 году и достигнет величины 64 экзабайта в месяц (1 экзабайт – триллион гигабайтов). На рисунке 1.4 показан рост глобального трафика за 2009-2014 год. По графику видно, что наиболее быстрыми темпами растёт трафик различных форм видео.

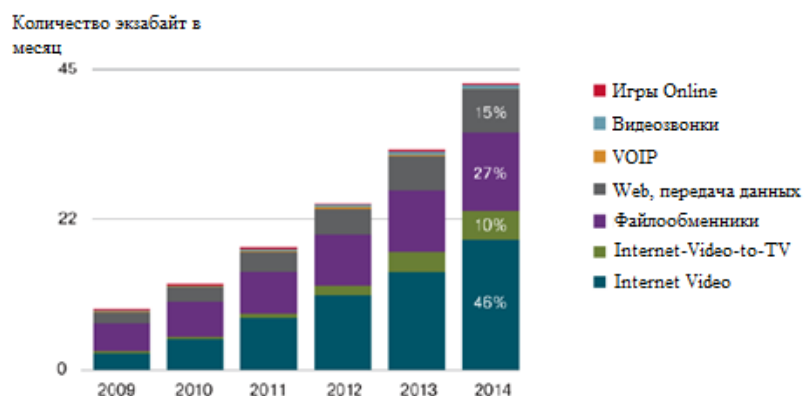


Рисунок 1.4 – Рост трафика за 2009-2014 гг.

Новые услуги требуют более широкой полосы пропускания и быстрой производительности. По закону Нильсена пропускная способность сети ступенчато возрастает на 50% каждый год, начиная с 1984 г. На рисунке 1.6 показаны требования к пропускной способности некоторых текущих и будущих приложений.

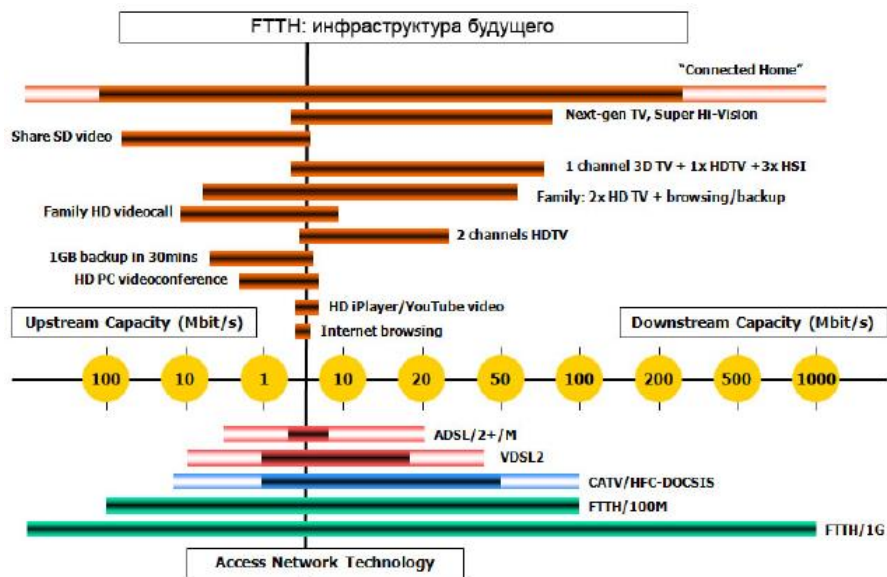


Рисунок 1.5 - Требования к пропускной способности сети при использовании различных приложений.

Как показывает график 1.5, услуги могут быть реализованы на базе различных технологий широкополосных сетей доступа, рассматриваемых в главах 1.3 и 1.4.

1.3 Обзор технологий широкополосного доступа

Сегодня технологии широкополосной передачи данных (ШПД) являются самым быстрорастущим сектором телекоммуникаций. Исходя из зависимости от среды передачи, различают проводные и беспроводные ШПД. В первом случае на всех участках сети ШПД, включая магистраль и абонентский доступ, применяются направляющие системы: кабель с оптическими волокнами (ОВ), симметричные кабели (СК), коаксиальные кабели (КК), а также проводники низковольтных электросетей (например, технология Power Line Communication - PLC). В беспроводных ШПД используют радио- и микроволновый диапазоны частот для соединения фрагментов сети. При этом выделяют фиксированный (стационарный) наземный беспроводной доступ, мобильный наземный беспроводной доступ и спутниковый доступ. Основные технологии реализации ШПД приведены на рисунке 1.6. Беспроводные ШПД являются предметом самостоятельного исследования, выходящего за рамки данной работы, и рассматриваются не как альтернатива фиксированному ШПД, а как дополнение к нему, потому ограничимся рассмотрением проводных ШПД.

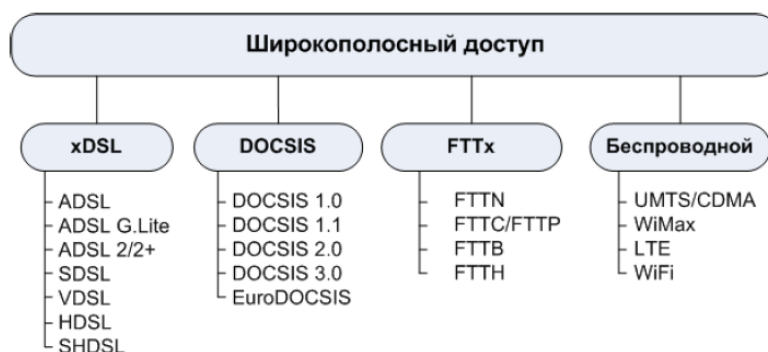


Рисунок 1.6 – Технологии ШПД

Технология xDSL использует частное уплотнение, эффективные линейные коды, адаптивные методы коррекции искажений для расширения пропускной способности абонентских линий телефонных сетей. Символ "x" обозначает первый символ названия определённой технологии, DSL (Digital Subscriber Line) используется для обозначения цифровой абонентской линии. Различие существующих типов технологии xDSL в используемых формах модуляции, скоростях ПД. Среда передачи - существующая кабельная инфраструктура (проложенные медные линии связи), обеспечивающая низкую стоимость подключения.

Технология DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specifications) — стандарты ПД посредством коаксиального (телевизионного) кабелю. Операторы кабельного телевидения КТВ применяют её для предоставления абонентом Интернет-доступа в целях увеличения спектра услуг. Версии:

DOCSIS 1.0, 1.1, 2.0, 3.0, EuroDOCSIS.

Технология FTTx (Fiber-To-The-x – «волокно до точки x»). Наиболее перспективными являются технологии, использующие оптическое волокно. Термин FTTx обозначает сеть ПД, оптический кабель которой тянется от сетевого узла вплоть до конкретного места (точка x), дальнейшая разводка производится как медножильным кабелем, так и оптическим. Исходя из зависимости от точки размещения оконечного оптического оборудования, а именно степени его приближения к пользователю, возможны различные варианты реализации (варианты архитектуры FTTx), показанные на рисунке 1.7:

– FTTN (Fiber-To-The-Node) – «оптоволокно до сетевого узла агрегации». Данная технология часто используется в сочетании с технологией xDSL там, где уже есть медные линии, и применение оптики нерентабельно. Здесь узлы агрегации, исходя из географической привязки к существующим объектам связи – например, зданиям АТС, объединяются в физические кольца магистральным оптическим кабелем с одномодовыми ОВ. Основой распределительной сети и последней мили служит существующая кабельная система телефонной сети общего пользования (ТфОП) на базе многопарного симметричного кабеля (СК) и телефонного распределительного провода. Сегодня быстро внедряемая и бюджетная технология используется достаточно редко по причине ограничения по скорости, числу подключений для одного кабеля, невысокого качества предоставляемых услуг.

– FTTC/FTTP (Fiber-To-The-Curb/Fiber-To-The-Premises) – «волокно до квартала (района-кластера) или группы домов» предполагает установку ОК от узла агрегации до узла доступа, который развертывается в соответствующем выделенном техническом помещении жилого здания либо в уже существующем объекте связи (например, вынос АТС), таком как распределительный шкаф, перед одним или несколькими зданиями. Как и в FTTN, используется находящаяся в эксплуатации распределительная и абонентская кабельные подсистемы ТфОП, Медные кабели прокладываются внутри зданий, потому не подвержены попаданию воды, имеют высокую протяжённость линий, характеризуются высоким качеством жил. Поэтому скорость передачи медного участка выше, чем у FTTN. По сути, FTTC является улучшенным вариантом FTTN, лишённым некоторых недостатков, характерных для FTTN.

– FTTB (Fiber-To-The-Bulding) – «волокно до здания» является широко распространенной технологией реализации сетей ШПД в больших городах и мегаполисах, на крупных предприятиях. Является приоритетом в случае сохранения существующей медной инфраструктуры и оборудования. В технологии FTTB оптический кабель прокладывается от узла агрегации до узла доступа, размещаемого в здании, а распределительный и абонентский участок реализуются на базе симметричного кабеля – «витой пары». При этом домовый коммутатор с коммутатором узла доступа подключается по оптическому интерфейсу Gigabit Ethernet 1000BASE-X, а подключение абонентского оборудования производится по технологии Ethernet 10/100Base-T.

– FTTH (Fiber-To-The-Home) – «волокну до жилого помещения» – предполагает прокладку ОК непосредственно до абонента (сетевой терминал расположен в квартире абонента).

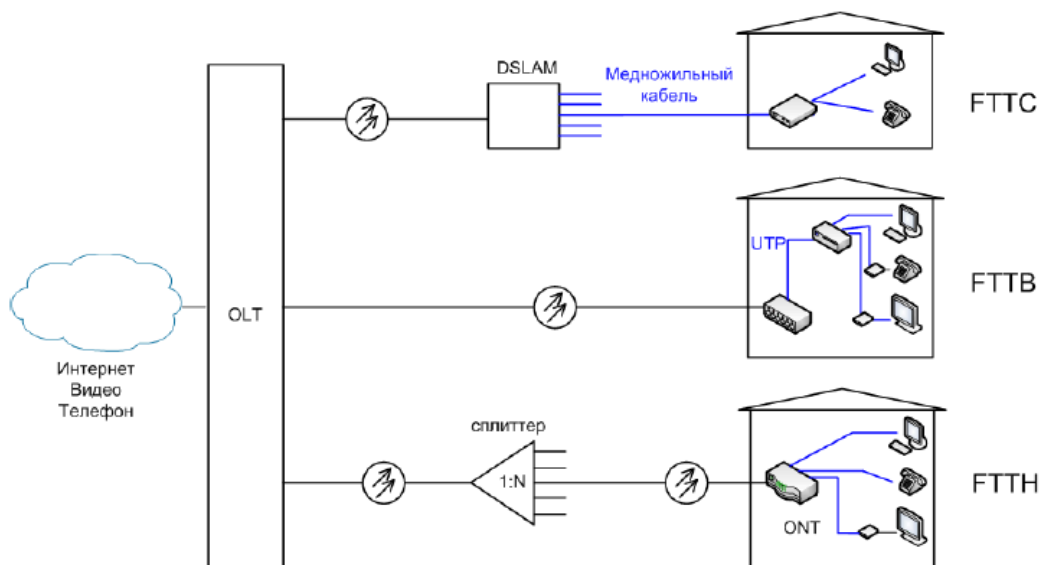


Рисунок 1.7 – Наиболее распространённые варианты реализации архитектуры FTТх

На выбор архитектуры сети FTТх влияет плотность размещения абонентов, запланированный объём услуг, полоса пропускания и, соответственно, скорость доступа. Частные дома и микрорайоны (например, микрорайоны города Тараз), а также строящиеся новые здания подключаются по технологии FTTH. Чем выше пропускная способность сети и скорость доступа, чем больше пакет услуг, тем короче участок медных кабелей и ближе подходит оптика к терминалу, потому наиболее перспективной и распространённой в мире является технология FTTH, обеспечивающая гигабитный доступ по сети. Докажем это, сравнив различные технологии ШПД.

В таблице 1.3 приведены сравнительная характеристика скоростей доступа технологий ШПД, а также типичных временных интервалов необходимые для закидывания и раздачи данных разного размера.

Т а б л и ц а 1 . 3 Сравнительная характеристика технологий ШПД

Технология	Скорость подключения	1 Гигабайт фото альбом	4,7 Гигабайт DVD видео	25 Гигабайт HD видео
FTTH	1 Гбит/с download 1 Гбит/с upload	9 с	39 с	3 мин 28 с
FTTH	100 Мбит/с download 100 Мбит/с upload	1 мин 23 с	6 мин 31 с	34 мин 40 с
DOCSIS	50 Мбит/с download 10 МБ/с upload	2 мин 46 с 13 мин 52 с	13 мин 2 с 1 ч 5 мин	1 ч 9 мин 5 ч 47 мин
DSL	8 Мбит/с download 1 Мбит/с upload	19 мин 0 с 2 ч 32 мин	1 ч 29 мин 11 ч 54 мин	7 ч 55 мин

Технология xDSL является простой, недорогой, экономичной и

оправданной для операторов, которым требуется обеспечить скорость до 1 Мбит/с. Удобства этого вида доступа очевидны:

- 1) затраты на строительство новых линий связи не требовались;
- 2) работы по прокладке новых линий у абонента внутри помещения были минимальны, либо не требовались вовсе;
- 3) возможность самостоятельного подключения к услуге Интернет-доступа со стороны абонента;
- 4) одновременное пользование телефонной связью и Интернетом возможно без ухудшения качества этих услуг.

С появлением услуг Triple Play перед преимуществами стал возобладать явный недостаток, а именно ограничение по скорости. Заявленные скорости xDSL (ADSL2 - 24 Мбит/с для или VDSL2 - 100 Мбит/с) теоретически возможны, но включают большие протокольные затраты, достижимы, если абонент находится рядом со станцией, где установлено активное оборудование, то есть происходит уменьшение скорости доступа по мере удаления абонента от оборудования (рисунок 1.9). Иными словами, скорость на последней миле зависит от длины, состояния абонентской линии. Производительность технологии xDSL близка к пределу, описанному теоремой Шеннона, определяющей верхнюю границу скорости ПД через аналоговый канал связи исходя из соотношения сигнал-шум (SNR). На общую производительность DSL влияют случайные шумы, перекрестные помехи. Очень большие взаимно побочные эффекты (переходные явления) между парами ограничивают диапазон и качество передачи. Из-за насыщения, всем абонентам не предоставляется одинаковое качество услуги широкополосного Интернет-доступа и IP TV, и отдельные медные пары даже и не поддерживают указанные выше услуги.

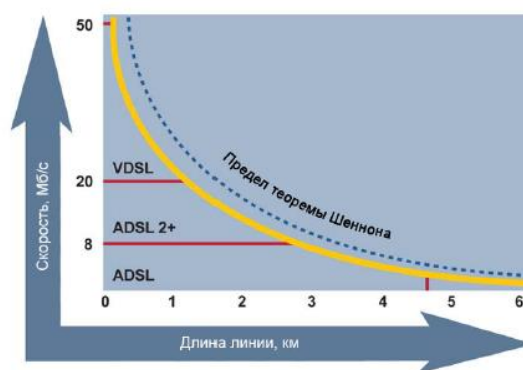


Рисунок 1.8 – Технологии ШПД

DOCSIS 3.0, как и xDSL, базируются на инфраструктуре, предназначенной для передачи речи и аналогового ТВ сигнала, обеспечивают скорость 100 Мбит/с посредством объединения частотных каналов коаксиальных кабелей для увеличения скорости передачи. Достоинство данного решения - подключение большого числа кабельных модемов к одному

коаксиальному сегменту, обеспечивающее снижение затрат на построение сетевых инфраструктур в расчёте на одного абонента. Проблемы систем кабельного телевидения: описанное выше ограничение полосы пропускания, использование абонентами объединённых каналов и увеличение пиковой мощности каждого отдельного абонента, слабый восходящий поток из-за оптимизации системами КТВ размера нисходящего потока.

Беспроводные сети эффективны в местностях, где существуют технические трудности в прокладке кабеля. Скорости доступа беспроводных и мобильных технологий сравнимы со скоростями фиксированного ШПД, но у них имеются недостатки:

- Обеспечение максимальной производительности только в случае нахождения абонента около базовой станции, работа близко к пределу Шеннона, увеличение сетевой пропускной способности сопряжено с большими трудностями.

- Разделение радиointерфейса, за счёт чего некоторая ёмкость является общей для абонентов в области покрытия одной базовой станции, и чем больше пользователей подключено одновременно, тем меньшая скорость ПД будет выделена для одного абонента.

Кабельные, xDSL и спутниковые технологии, не требующие большой полосы пропускания, рационально применять в сельской местности.

Бурный экспоненциальный рост полосы пропускания, характерный для крупных городов, требует нового подхода к архитектуре сети, новых решений и подготовки к продолжительному росту завтра. Единственное радикальное, но логичное решение, позволяющее организовать сеть, способную на работу с новейшими приложениями – это использование технологии FTTH. Пять лет назад данная технология считалась очень дорогой, но сегодня она актуальна вследствие снижения стоимости оптических компонентов. Сети FTTH имеют самые низкие эксплуатационные расходы, поскольку потребляют меньше электроэнергии (в 20 раз меньше, чем xDSL и DOCSIS) за счёт низких расходов на техническое обслуживание и высокой надёжности оптических сетевых элементов (срок службы оптического кабеля 30 лет, составляющие кабелей, пластик и стекло, деградируют очень медленно). Технология имеет очевидные преимущества перед всеми описанными выше технологиями для пользователей, как сегодня, так и в будущем, так как она обеспечивает максимально возможную скорость как по нисходящему каналу (downstream, от сети к абоненту), так и по восходящему (upstream, от абонента в сеть), за счёт этого обеспечивается симметричная полоса пропускания (рисунок 1.7). Расстояние от станции до абонента не оказывает влияния на скорость доступа. Электромагнитные помехи – причина перебоев в работе медных сетей, однако оптоволокно к ним не чувствительно. Оптоволокно обладает практически неограниченной пропускной способностью (в 3-5 раз большую, чем у xDSL, судя по рисунку 1.7). Недостаток FTTH – потребность в обновлении активного оборудования, имеющего небольшой срок службы (5-7 лет), но этот недостаток присущ всем технологиям ШПД.

Итак, большая пропускная способность сети FTTH, отсутствие каких-либо существенных ограничений, поддержка разнообразных услуг делает её весьма привлекательной и перспективной для реализации телекоммуникационных сервисов, потому в предстоящий период можно ожидать вклад операторов в оптическую инфраструктуру доступа.

1.4 Технология GPON. Особенности технологии, принципы работы

1.4.1 Недостатки GPON:

- большие вложения капитала на начальном этапе;;
- сложность;
- относительная дороговизна.

Недостатки GPON легко компенсируются её достоинствами.

1.4.2 Преимущества GPON:

- подключение клиентов к сети GPON, используя «гигабитный режим инкапсуляции» GEM;
- универсальность, выражающаяся в инкапсуляции любого типа услуг в синхронный транспортный протокол;
- оптимальная привязка сети к сетевым узлам, существующим трассам кабельной канализации, выбор соответствующих трасс прохождения кабеля;
- расчет оптического бюджета проектируемой сети;
- подбор мест установки оптических сплиттеров;
- поддержка широкого диапазона битовых скоростей как в симметричном так и в ассиметричном соотношении (155-2488 Мбит/с), на которых осуществляется передача данных в восходящем и нисходящем потоках;
- поддержка 32/64/128 ONT (количество ONT влияет на эффективность работы сети: чем больше ONT, тем быстрее окупается сеть);
- 256 логических ONT на длину волны;
- автоматическое и периодическое обнаружение ONT;
- возможность реконфигурирования на ONT количества защитных битов;
- метод автоматического масштабирования в случае обнаружения дрейфа окна ONT;
- шифрование трафика, защита ONT-соединений при помощи криптоалгоритма AES, не позволяющего хакерам считывать адресованный кому-либо трафик;
- множество состояний, отчётов от ONT к OLT;
- применение выделенных каналов OAM;
- встроенные механизмы, обеспечивающие QoS в процессе передачи трафика аудио и видео;

- соглашения об уровне услуг контролируются (SLA -Service Level Agreement);

- полоса пропускания распределяется динамически с помощью специализированного «общего протокола кадров GFP» стандарта ITU-T G.704.1 в восходящем потоке при помощи маркеров в нисходящем потоке для каждого канала, при сохранении структуры кадра SDH;

- повышенная эффективность передачи различных мультисервисных приложений (обеспечение лучших характеристик по сравнению с остальными PON);

- утилизация полосы пропускания составляет 93 % при неустойчивом распределении трафика, колебаниях потоков (у остальных PON 71 %);

- экономичность: сумма эксплуатационных расходов меньше, чем у других стандартов.

Технология GPON распространена в Европе и Северной Америке.

1.4.3 Физический уровень G.984.2, или PMD уровень (Physical Media Dependent). Физическим уровнем G.984.2 называют спецификацию физического уровня архитектуры GPON, зависящего от среды, по которой происходит передача оптического сигнала. Посредством данного уровня, основой которого является база SDH (тактовые частоты, уровни мощности), высшие уровни архитектуры GPON взаимосвязаны и взаимодействуют со средой передачи, выполняется условие, согласно которому по одной среде в регламентированных окнах прозрачности передаются нисходящий поток со скоростями 1244,16 и 2488,32 Мбит/с и восходящий поток, имеющий скорости 155,52; 622,08; 1244,16; 2488,32 Мбит/с двумя способами: с использованием WDM технологии спектрального разделения каналов на разных длинах волн по одному оптоволокну (нисходящий поток передаётся в третьем окне прозрачности 1480-1500 нм, восходящий - во втором 1260-1360 нм) и с использованием двух отдельных волокон (передача нисходящего и восходящего потока во втором окне прозрачности 1260-1360 нм). Спецификацией описываются оптические компоненты сети GPON, такие как оптический кабель, использующийся в качестве среды передачи, имеющий в составе одномодовое оптоволокно. По причине хорошо отработанных схем реализации выбрано эффективное кодирование NRZ с шифрованием и использованием механизма FEC (Forward Error Correction – прямое исправление ошибок), при котором в оптоволокно поступает код NRZ, логическая «1» кодируется оптическим излучением высокой интенсивности, а «0» - излучением меньшей интенсивности. Бюджет мощности также определяется PMD уровнем: 10-25 дБ для класса В, 15-30 дБ для класса С. Два диапазона (два класса) нужны для учёта наихудших показателей по затуханию, увеличения затуханий в соединителях вследствие деградации, старения материалов, возникновения необходимости в установке новых сплиттеров и т.д. Выбор класса предполагает применение лавинных фотодиодов в OLT, требующее управление

передатчиком ONT, что также входит в функции PMD уровня.

1.4.4 Структура управления передачей. Уровень управления передачей (TC – Transmission Convergence) в PON специфицируется Рекомендацией G.984.3, отличающейся весьма высокой эффективностью (выше 90%), способной к передаче ATM-ячеек и кадров данных формата инкапсуляции GFR.

Кадры нисходящего потока способны легко синхронизироваться. Состав кадра следующий: блок физического контроля PCB, содержащий данные заголовка физического уровня для управления и контроля сетью PON, ATM-участка для доставки ячеек в ONT и определения принадлежности ячеек к ONT индикатором виртуальной линии, участка гигабитного режима инкапсуляции (GEM) для переноса фрагментов GEM в ONT и определения принадлежности фрагментов к ONT с использованием идентификаторов Port-ID.

OLT динамически управляет кадрами восходящего потока, используя таблицу полосы пропускания (список моментов начала и конца, относящихся к определённым идентификаторам Allocation-ID ONT), после согласования с которой ONT начинает передачу данных OLT (upstream) лишь в определённом окне; в другой кадровой части ONT прекращает передачу. Для экономии полосы пропускания при передаче в двух окнах посылка заголовка физического уровня восходящего потока ONT осуществляется один раз. Данные, передаваемые протоколом GPON, - ATM-трафик и/или GEM-информация.

GTC уровень управляет информационными потоками, обеспечивает безопасность и транспортировку абонентского трафика. Уровень управления передачей в GPON сети (GTC, стек протоколов TC) складывается из подуровня формирования кадров, состоящего из участков ATM, GEM, администрирования и управления (OAM), физического уровня системы контроля, управления (PLOAM), и подуровня адаптации. На ATM-участке и GEM-участке происходит преобразование блоков рабочей информации (SDU) из блоков данных протокола (PDU) и обратно. Подуровень формирования кадров, полностью доступный для любого типа передаваемых данных, выполняет мультиплексирование и демультиплексирование, создаёт заголовок кадра нисходящего потока и декодирует заголовок восходящего потока, организует внутреннюю маршрутизацию. Подуровень адаптации имеет 3 TC адаптера: ATM, GEM и OMCI адаптеры. ATM, GEM адаптеры выделяют PDU элементы информации из всех сегментов подуровня, обозначают эти элементы в сегментах, обрабатывают данные OMCI канала, базируясь на данных VPI/VC1 (ATM протокол) и Port-ID (GEM протокол). OMCI адаптер передаёт информацию канала OMCI GEM TC и ATM TC адаптерам, принимает данные от них, обменивается им с клиентом OMCI, получает от него информацию и передаёт информацию от клиента OMCI вниз на адаптеры, управляет уровнями услуг. Канал PLOAM передаёт дополнительные данные управления PMD, GTC уровнями.

Система GTC работает в режиме протокола ATM или GEM, режим

выбирается при инсталляции системы. Тип трафика определяется сегментом GTC кадра (нисходящий поток) или Allocation ID (Alloc-ID) (восходящий поток). Если поток передаётся в виде GEM трафика, то его идентификация осуществляется по Port-ID в 12 бит, в случае ATM трафика - по VPI. OLT информируют об используемом протоколе сообщением серийного номера. Если OLT поддерживает хотя бы один протокол, то он организует OMCI канал, в результате обнаруживается ONT. В противном случае передаётся информация о несовместимости ONT с данной системой.



Рисунок 1.9 - Структура уровней GPON

1.4.5 Структура кадров. Длительность кадра всегда равна 125 мкс и не зависит от сетевой пропускной способности в нисходящем потоке, будь то 1,244 Гбит/с или 2,488 Гбит/с. Для 1,244 Гбит/с характерен размер кадра 19 440 байтов, для 2,488 Гбит/с – 38 880 байтов. Структура кадров для всех скоростей восходящего потока одинакова: многочисленные пакеты - наборы данных, передаваемых от ONT, распределение которых осуществляется таблицей полосы пропускания. OLT контролирует посредством поля индикаторов таблицы посылку в начале распределения от ONT данных абонента и 3-х видов PON-заголовков: заголовка служебной информации физического уровня восходящего потока PLOu; заголовка, отвечающего за административную и управленческую информацию, исполняющего над физическим уровнем разнообразные операции OAM восходящего потока PLOAMu, содержащего сообщение PLOAM; заголовка PLSu для отслеживания OLT изменений уровня мощности, регулирующего динамический диапазон; заголовка DBRu, содержащего отчёт о динамике полосы пропускания. Последнее поле структуры кадра - сегмент полезной нагрузки, используемый в целях передачи ATM и GEM ячеек, а также DBA отчётов, содержащих информацию от ONT о занимаемой ими полосе пропускания.



Рисунок 1.10 - Структура кадра восходящего потока GPON



Рисунок 1.11 - Структура кадра нисходящего потока GPON

Состав кадра нисходящего потока: блоки PCBd, ATM и GEM, несущие сигнальную информацию, предназначенную для восходящего потока, содержащие временные соотношения GPON. Длина поля PCBd (поле физического контроля нисходящего потока) зависит от количества блоков распределения, с одним и тем же идентификатором Allocation-ID. ONT использует поле физической синхронизации Psync при определении начала кадра. Полем Ident, выполняющим роль счётчика сверхциклов, используемым в системе шифрования, обозначается следующая за началом кадра структура. Поле PLOAM транспортирует сообщение PLOAM. Поле BIP проверяет чётность на стороне приёмника. В поле Plend, дублирующемся в целях повышения надёжности) хранится информация о длинах сегмента ATM, содержащим целочисленное количество ячеек в 53 байта, и карты пропускной способности, о числе элементов поля BWmap. Поле BW map по сути является скалярным массивом в 8 байт, единичный элемент которого есть выделенная одному T-CONT единичная полоса пропускания. Размер GEM сегмента, содержащего переменное количество GEM фрагментов, есть разность между общей длиной кадра и суммой PCBd и ATM сегментов.

В восходящем потоке доступ к среде контролируется путём передачи указателей (маркеров) от OLT к PCBd, указывающих моменты начала и окончания передачи ONT. T-CONT - фрагмент кадра за полем Alloc-ID (см. рис.

1.12), контролирующей занимаемую полосу частот BW и QoS, следя за положением BW, контролируя переменное значение количества временных интервалов. Внутри T-CONТа не содержатся данные по расположению в кадре одновременно ATM, GEM трафика, не имеющих одинаковые Alloc-ID. OLT в блоке PCBd передаёт указатели, позволяющие на скорости 64 кбит/с OLT эффективно контролировать среду передачи, определяющие интервалы установления времени для всех ONT, когда должны начинаться, заканчиваться передаваемые от ONT данные, - байтовая последовательность. Следовательно, в любой строго отведённый момент времени к среде получает доступ лишь один ONT. Таким образом, предотвращаются конфликты.

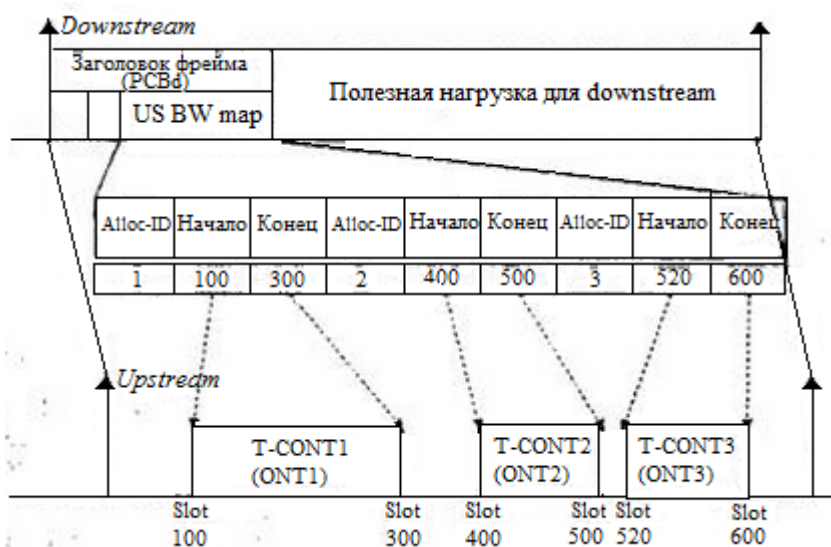


Рисунок 1.12 – Доступ к среде передачи данных

Рисунок 1.12 показывает, что каждому ONT соответствует только один T-CONT, в котором имеется информация о том, когда, на какое количество времени среда передачи доступна ONT.

1.4.6 Построение сети GPON (2014 г) планируется для жителей микрорайонов и нескольких улиц в центре города выделенных территориально в микрорайон. Настоящим проектом предусматривается построение оптической сети по технологии FTTH в городе Тараз, что позволит расширить присутствие широкополосного интернета и внедрить широкий спектр высококачественных услуг. Основной целью проекта является предоставление услуги ШПД в 15 домах (848 квартиры) мкр. “Жансая” города Тараз. Проект содержит основные решения по организации оптической сети доступа для следующих жилых домов, расположенных в г.Тараз по адресу 11 микрорайон (Жансая) номера домов: 1, 2, 3, 7, 8, 9, 11, 12, 13, 14, 15, 21, 23, 25, 26. Принятая рабочим проектом технология и оборудование, организация производства и труда соответствуют новейшим достижениям телекоммуникационной техники.

На рисунке 1.13 приведена схема проектируемого оптического доступа на 2014.

2 Проектирование гигабитной пассивной оптической сети GPON

2.1 Выбор топологии сети доступа

Задача проектирования GPON сети состоит из следующих операций:

- выбор сетевой топологии;
- выбор активного оборудования;
- определение мест, где будут установлены ONT;
- оптимальная привязка сети к сетевым узлам, существующим трассам кабельной канализации, выбор соответствующих трасс прохождения кабеля;
- расчет оптического бюджета проектируемой сети;
- подбор мест установки оптических сплиттеров;
- оптимальный выбор коэффициентов деления сплиттеров.

В данной главе мы подробно остановимся на одном из самых значительных аспектов построения гигабитных пассивных оптических сетей, имеющем первостепенное значение, - топологиях сетей. Разработку дипломного проекта необходимо начинать с принятия технического решения, обеспечивающего оптимальные условия строительства и эксплуатации волоконно-оптической сети GPON, коим является выбор топологии сети. Именно сетевая топология считается гарантией успешного функционирования технического проекта, фактически она обуславливает потенциал для подключения новых абонентов в ранее созданную и действующую сеть GPON.

Выбор топологии предполагает выбор одного из нескольких потенциальных вариантов в том случае, если, исходя из реально существующего месторасположения абонентов, без труда выбираются места установки пользовательских терминалов ONT.

На практике применяются топологии «шина», «звезда» и «дерево», последняя из которых является наиболее распространённой.

На территории Казахстана нередко встречаются малочисленные населённые пункты: аулы, села, деревни. Они представляют зачастую собой одну улицу или несколько параллельных улиц, достаточно ёмких с точки зрения количества пользователей, при этом имеющих довольно большую протяжённость, дома на которых «линейно» располагаются вдоль оптической магистрали. В таких поселениях нерационально использовать топологии «дерево» и «звезда», поскольку их развёртывание неудобно и обходится недёшево, поэтому «шина», являющаяся наиболее экономичной схемой из предложенных, в таких случаях представляется единственно возможным выходом. Нередки случаи, когда применяются две шины: одна для обслуживания абонентов, более «близких» к головной станции OLT, другая – для более удалённых абонентов. Недостаток шинной топологии заключается в том, что воплотить в жизнь данную технологическую идею с высокой

точностью достаточно сложно в силу того, что данная топология подразумевает значительную разность выходных мощностей сплиттеров типа 1/99, 3/97 и т.д., поэтому она используется только при малом количестве каскадов, в противном случае потери в сплиттерах будут существенно ограничивать дальность передачи.

Существуют два способа развёртывания шины в PON сетях:

- На одном волокне с применением каскада сварных делителей 1x2, вход первого из которых подключается к активному оборудованию OLT (порту PON), последующий каскад делителей питается от магистральной линии, куда поступает большая выходная мощность (так называемый принцип «большая мощность в линию»), при этом меньшая мощность выходного сигнала отводится на подключение пользователя. Таким образом, для одного абонента делается одно ответвление, что неудобно применять на практике. Во-первых, снижается качество сигнала, преимущественно на концевых участках каскада за счёт увеличения количества сварок на магистральном оптоволокне. Во-вторых, очень сложно в центр существующего каскада подключить новых пользователей, вследствие того, что обычно проводятся сварные работы при включении, что неминуемо приведёт к неимению возможности подключения абонентов в нижерасположенном каскаде, а также отрицательно отразится на качестве сигнала в нём, поскольку существует риск нарушения в линии общей схемы затухания. Топология «шина» в общем случае показана на рисунке A1 (приложение A).

- Наиболее эффективный способ, показанный на рисунке A2 (приложение A), - комбинирование планарных делителей 1x2, 1x4 и 1x8 (PLC сплиттер) со сварными делителями 1x2 (FBT сплиттер), при котором топология «шина» остаётся неизменной, однако ответвление сигнала приходится не на 1-го пользователя, а на объединение пользователей, находящихся от PLC сплиттера в радиусе более двухсот метров. Использование данной схемы удобно тем, что новый абонент подключается в три этапа: прокладывание оптического патч-корда от сплиттера типа PLC к абоненту, его подключение к делителю, а затем подсоединение к ONT или к ONU, следовательно при правильном проектировании сеть масштабируется легко.

Схема «звезда», представленная на рисунках A3 и A4 приложения A, в сущности является вырожденным деревом 1-го типа: магистральный кабель большой протяженности с малым количеством оптоволокон подсоединяется к порту PON активного оборудования OLT, с другой же оконцовывается PLC сплиттером, имеющим большую ёмкость: 1x32 либо 1x64. Данная топология применяется при планировании районов, имеющих малую площадь и высокую плотность абонентов, находящихся рядом со станцией OLT. В таких случаях проявляются такие достоинства топологии «звезда», обусловленные размещением разветвителя недалеко от активного оборудования в станционном помещении, как простота, относительная лёгкость дистанционного контроля над состоянием пассивного оборудования сетей PON, удобство для эксплуатации и технического обслуживания, для организации

плановых измерений линий, активных и пассивных компонентов сети PON, для быстрого обнаружения и своевременного устранения кабельных и линейно-абонентских повреждений линии, неисправностей и аварий на сети PON.

В случае довольно разнесённого и неравномерного расположения абонентов практичнее использовать «шину» или описанную ниже топологию «дерево».

На практике используются два способа реализации доставки сигнала до пользователей в сетях с применением топологии «звезда»:

- Процесс «упаковывания» части выводов сплиттера в многоволоконный кабель, дабы транспортировать волокна в одном направлении и вывести их из кабеля прямым к удалённой на небольшое расстояние от сплиттера группе домов абонентов, в основном частных, где необходимо подключить оптоволокна к ONT;

- Более простой способ - соединение выводов оптического сплиттера с патч-кордом абонента, прокладываемым от узла сплиттирования непосредственно к абонентам. Данный метод также используется тогда, когда большое число пользователей находится на некотором удалении от сплиттера и возможна прокладка в дом клиентских патч-кордов каждому пользователю.

Древовидная структура, показанная на рисунке А5 (приложение А), является классической и наиболее распространённой для сетей GPON. Топология «дерево» предполагает, что сеть имеет «корень» - PON порт OLT, «ветви» - оптоволоконные кабели, «листья» - ONU (ONT).

Условно «деревья» делятся на два типа:

- «Одинокое растущее дерево» - узел деления, «произрастающий» географически независимо и отдельно от других узлов «деревьев». Данный тип обладает небольшой ёмкостью до 64-х ONT, применяется для установления связи в небольших локальных районах (до четырёх районов на один OLT) и использует многоволоконный (до 8-волокон) кабель, выступающий в качестве «ствола», режущегося в случае необходимости, от которого разваривается оптоволокно. Из него растёт «ветвь» из 8 пользователей, прочие оптоволокна же тянутся дальше и образуют, используя делитель 1x8 либо комбинацию делителей 1x2 и 1x4, «поддеревья» - ответвления от главной магистрали. Непосредственно за OLT на стороне интернет-провайдера устанавливают сплиттер 1x8 и подключают его с одной стороны к PON порту OLT, а с другой к многоволоконному кабелю. Топология такого типа имеет множество вариантов, самый простой из которых показан на рисунке А6 (приложение А). Преимущество данного типа – лёгкость в понимании процессов планирования и проектирования сети, а также обеспечение практичного освоения конкретного направления: на один микрорайон приходится один порт. Минус «одинокое растущее дерево» заключается в применении четырех многоволоконных магистральных кабелей для построения сети, включающей 256 пользователей, что означает фактически пренебрежение концепцией экономии оптоволокна в угоду простоте реализации топологии.

– «Лесопосадка», называемая также «мультидеревом», классика в построении PON сетей с топологией «дерево», – более тяжёлый с позиции проектировки тип, поскольку по существу это группа N деревьев вышеописанного типа. «Части» «мультидерева» накладываются одна на другую и географически являются одной и той же точкой или линией. При подключении абонентов этот тип использует магистральный оптический кабель, выступающий в роли «ствола» и «ветвей», покрывающих всё пространство планируемого жилого массива. Оптоволоконный кабель, начинающийся и заканчивающийся в одних и тех же точках, имеет меньшее по сравнению с первым типом количество волокон, кратное четырём: 4 или 8, иногда 16. Таким образом, экономичное использование оптоволокна, простое включение новых пользователей, гибкость расширения базы абонентов – главные достоинства этого типа древовидной топологии. Используется определённое количество OLT (более 256) на стороне оператора связи для построения мощной и очень ёмкой инфраструктуры. Недостатками «мультидерева» являются сложный первоначальный этап проектирования, связанный с оптическими измерениями, в частности со стороны станции, в результате чего есть риск неверного планирования количества потенциальных пользователей сети. Потому первостепенная задача проектирования «лесопосадки» – правильное определение месторасположения узлов деления. Предполагаемый район разбивают на квадраты и устанавливают в их центрах делители 1xM. Каждый сплиттер в пределах своей области транспортирует сигнал в M направлениях. Данный метод называется квадратно-гнездовым, он показан на рисунке А7 (приложение А). N деревьев кратно 4, что обусловлено тем фактом, что одна плата OLT имеет 8 или 16 портов PON (Uplink). Любой из этих портов управляет поддеревом, обслуживающим 64-х абонента, на одном дереве 4 Uplinka по 64 абонента, то есть в общей сложности 256 абонентов на одном дереве, всего на одной плате OLT может быть 4 дерева в случае 16 портов на абонентской плате или 2 дерева в случае 8 портов. При планируемом подключении до 256 абонентов используют одну плату OLT и четырёхволоконный кабель, если необходимо подключить большее число абонентов, то применяется большее количество абонентских плат, и «лесопосадка» строится на более ёмком кабеле. OLT компании ECI Telecom, описанный в разделе 3, может иметь до 13 абонентских плат, имеющих 26 деревьев при 8 портах на одной плате, обслуживающей 6656 абонентов, или 52 дерева при 16 портах на одной плате, состоящие из 13312 абонентов. После выполнения задач прокладки кабеля и обозначения основных узлов деления необходимо дальше поэтапно развивать сеть. Вначале нужно активировать первое дерево, что значит задействовать 1-е оптоволокно корневого N-волоконного кабеля, проложенного между станцией оператора связи и абонентскими узлами деления, в которых происходит соединение первого оптоволокна со сплиттерами (прочие оптоволокна при этом «разорваны») до полного заполнения любого абонентского делителя пользователями, после чего происходит процесс развития второго дерева, затем третьего и т.п. Данный

процесс завершается занятием всех оптоволокон всех направлений и иллюстрируется рисунком А8 (приложение А). При построении «мультидерева» используются как PLC сплиттера 1x2, 1x4, 1x8, 1x16, имеющие одинаковые показатели затухания на выходах, так и FBT сплиттера 1x2 с процентным соотношением выходной мощности. Удачный подбор коэффициентов деления оптических сплиттеров помогает оптимально распределить мощность между деревьями и их частями, соблюдая оптический бюджет 28 дБ. Схема «мультидерево» рекомендована при локальных сосредоточениях (кластерах) абонентов в районе обслуживания, таких как небольшие населённые пункты, а также плотнонаселённые микрорайоны подключения, обладающих высоким процентом застройки, где число возможных абонентов велико. Таким кластером является проектируемый микрорайон «Жансая» города Тараз, описанный мной в следующем подразделе.

Оптический бюджет GPON, выпускаемые промышленностью сплиттеры позволяют организовать реализацию всех топологий, рассмотренных в данной главе дипломной работы, каждая из которых имеет запас мощности, которого хватает на резервное, или «свободное» волокно, используемое в строительстве частей «мультидерева».

2.2 Разработка структурной схемы проектируемой сети доступа

В зону обслуживания АТС- 34, расположенной по адресу улица Королёва, дом 5, входят районы, ограниченные с юга улицей Сейфуллина, с востока улицей Жансугурова, с севера улицами Толе би и Тауке хана, с запада улицей Санырак батыра, а именно микрорайоны: «Акбулак» (1-й), «Каратау» (2-й), «Жайлау» (3-й), «Салтанат» (4-й), «Аса» (10-й), «Жансая» (11-й), «Астана» (12-й), «Байтерек» (13-й); улицы Тауке хана, Жансугурова и Толе би. По большей части это сложившаяся многоэтажная застройка, жилая административно-промышленная часть города. АТС-34 охватывает район деловой активности города с равно распределенной из-за развитой сети Internet нагрузкой в течение суток (см. рисунок 2.1). Как и в центральной части города, здесь наблюдается тенденция перевода жилого сектора в нежилой и развитие в сфере бизнеса, в результате чего растёт потребность в новейших телекоммуникационных установках. Но, несмотря на это, АТС-34 наравне с АТС-43-45 обрабатывает большую нагрузку, чем другие городские станции. Поэтому в данном административном районе складывается обстановка, по причине которой появилась необходимость в установке новых устройств и предоставлении новых видов телекоммуникационных услуг. Оборудование на АТС-34 не удовлетворяет потребностям в обеспечении связью по многим причинам, главная из которых - моральное и физическое старение оборудования, вследствие чего снижается качество предоставления услуг, поэтому возникает необходимость в новом оборудовании. Для решения вопроса загруженности

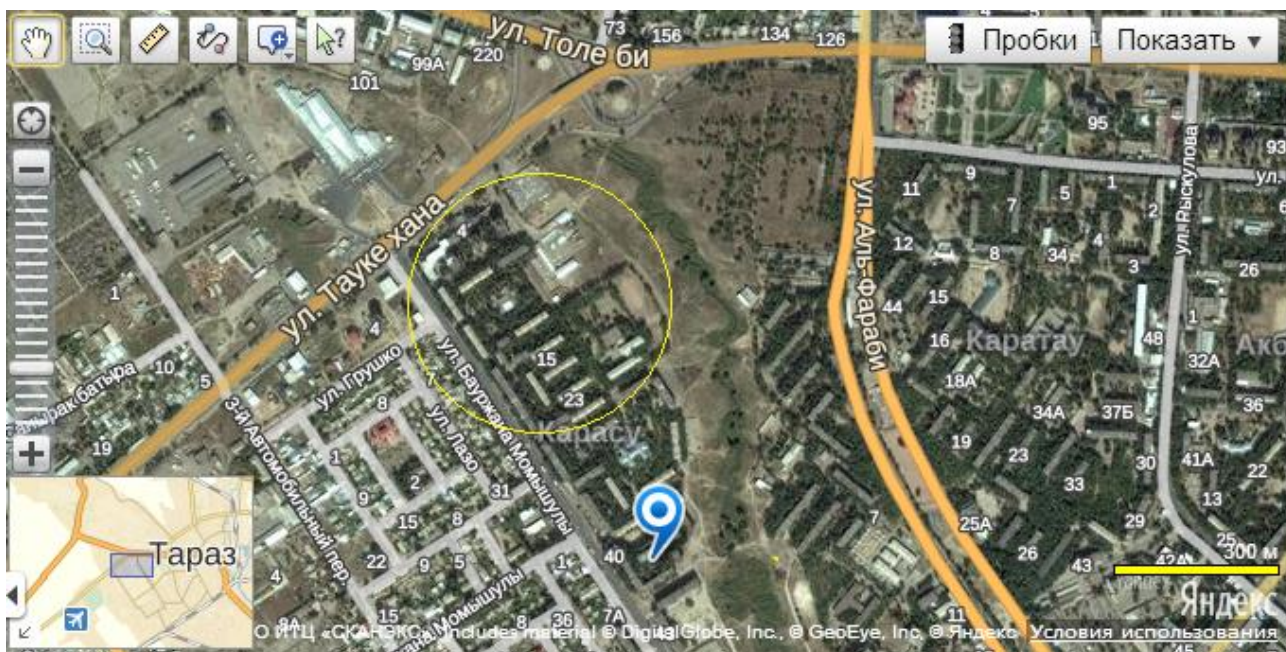


Рисунок 2.2 - Расположение квадрата улиц

Проектирование должно осуществляться:

- с учетом концентрации абонентов и перспективы застройки жилых и административных кварталов на срок не менее трёх лет;
- с учетом резервных волокон в магистральном и распределительном ВОК.

Прогнозируемая заинтересованность в услугах Triple Play составляет $\frac{1}{3}$ от количества квартир в подключаемом районе, но необходимо предусмотреть возможность роста количества потенциальных абонентов, и, учитывая это, установить соответствующее оборудование. В дипломном проекте будут разработаны схемы распределения кабелей и оборудования и произведён выбор станционного оборудования OLT, устанавливаемого на АТС-34, абонентского ONT оборудования в подъездах, в антивандальных распределительных шкафах, оптимального ОВ кабеля, сплиттеров (делителей оптического потока) и оптических муфт, располагаемых в канализации наряду с остальными коммуникациями.

2.3 Разработка схем распределения кабелей и оборудования

Настоящим проектом рассматриваются домовые распределительные сети. В данной работе рассматриваются только дома в кластере улиц Тауке хана, Б. Момышулы, Аль-Фараби и Шымкентской. Оптический кабель ВОК-144 прокладывается от АТСЭ-34 до домов, характеристика которых приведена в таблице 2.1.

Т а б л и ц а 2 . 1 - Распределение домов, подъездов и квартир.

№ дома	Этаж	Количество подъездов	Количество квартир
1	9	1	36
2	9	1	36
3	9	1	36
7	5	4	70
8	5	4	70
9	5	4	44
11	5	4	70
12	5	2	20
13	5	2	16
14	5	4	70
15	5	4	70
21	5	4	70
23	5	4	70
25	5	4	70
26 (1,2)	5	4	100

В квадрате (кластере) находятся 19 домов. 2 из них (4,5 дома) не подключаются к услуге Triple Play по технологии GPON по причине неудовлетворительного состояния подвальных помещений, 16 дом из-за забитых кабелями межэтажных закладных металлических труб. Администрация средней школы №42 не изъявляет желания подключиться к услугам Triple Play, а ресторан (6 дом) уже подключен к другому провайдеру. В дипломном проекте рассматриваются 15 домов, из них 3 девятиэтажных, 2 двухподъездных пятиэтажных (в 12 доме на один подъезд приходится по 10 квартир и в 13 доме на один подъезд приходится по 8 квартир) и 6 четырёхподъездных пятиэтажных (в домах 7,8, 11, 14, 15, 21, 23, 25 на один подъезд приходится от 15 до 20 квартир, в доме 9 от 8 до 14 квартир, в доме 26 от 10 до 15 квартир). Всего 848 квартир.

Уровень доступа строится на ONT с четырьмя Ethernet-портами и 2 FXS портами, обеспечивающими соединения на скорости 10/100/1000 Мбит/с для конечных пользователей и оптических сплиттеров. Один порт OLT может обслужить 64 клиента, каждого из 64 абонентов на скорости $39 \div 40$ Мбит/с. Оптические сплиттеры (1:4, 1:8) равнозначно распределяют 2,488 Гбит/с (downstream) и 1,244 Гбит/с (upstream) от OLT по оптоволокну. Размещение OLT будет выполнено в существующих помещениях узлов ПД. Включение OLT планируется двумя способами, как показано на рисунке 2.3. Первая точка подключения OLT, предназначенная для передачи трафика телевидения и телефонии: в коммутатор Cisco Catalyst 4900 по двум 1G линкам в сторону IP/MPLS (Metro Ethernet) города Тараз и через ДКП в города Алматы и Актобе. Вторая точка подключения OLT, предназначенная для передачи дата-трафика:

в коммутатор агрегации Juniper MX 480 по двум 10G линкам по существующей DWDM сети, минуя сеть Metro Ethernet города Тараз, напрямую в города Алматы и Актобе.

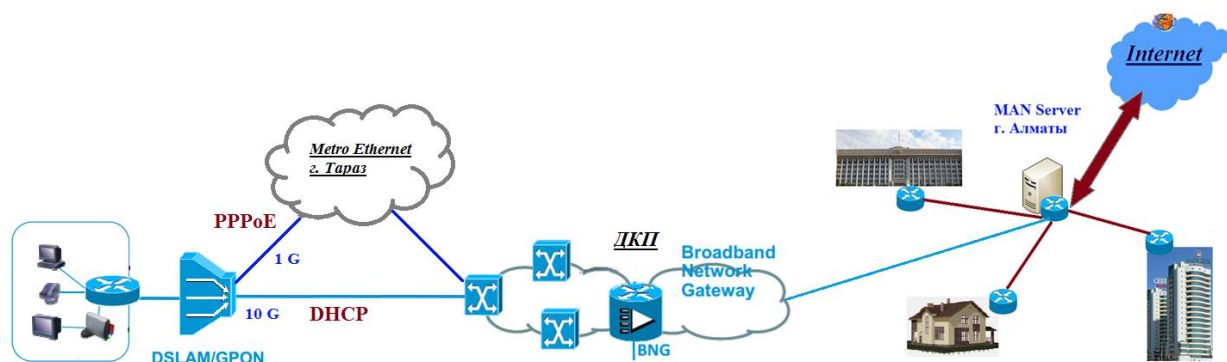


Рисунок 2.3 – Подключение OLT к ДКП двумя способами

Структура GPON (приложение Б) состоит из трех основных участков: станционного, линейного и абонентского.

2.3.1 Проектирование станционного участка. Станционный участок содержит активное станционное оборудование OLT и оптокросс ODF высокой плотности. Активное оборудование сети GPON – OLT устанавливается на центральном сетевом узле либо в помещении АТС. Зона охвата сетью GPON определяется районом обслуживания АТС. Функция оборудования OLT – связь оконечного оборудования пользователей с сетью Internet и иными источниками услуг Triple Play (передача данных, голоса и TV). Подключение линейных портов оборудования OLT к оптокроссу ODF происходит при помощи патчкордов или мультипатчкордов (оптических шнуров). Соединение OLT с оптоволоком (ОВ) магистрального кабеля производится подключением патчкорда от OLT непосредственно в оптическую розетку ОВ магистрального кабеля. Назначение оптического кросса ODF (рисунок 2.4) – распределение ОВ по направлениям, перекроссировка (коммутация) станционного кабеля с магистральными ВОК, через патчкорды с коннекторами SC-APC, а также соединение магистральных ВОК со станционным ВОК, а именно с оптическими портами ODF, которое производится через оптические разъёмы либо посредством кассет и боксов для сварных соединений, называемых сплайс-пластинами. Оптический кросс ODF должен быть выполнен в модульном исполнении с возможностью наращивания ёмкости кросса путём добавления модулей в случае роста абонентской базы. Оптический кросс расположен в гермозоне в выделенном помещении, смежном или расположенном в небольшом удалении от шахты, в котором должен осуществляться переход через станционные муфты, на станционные кабели, вводимые в оптокросс.

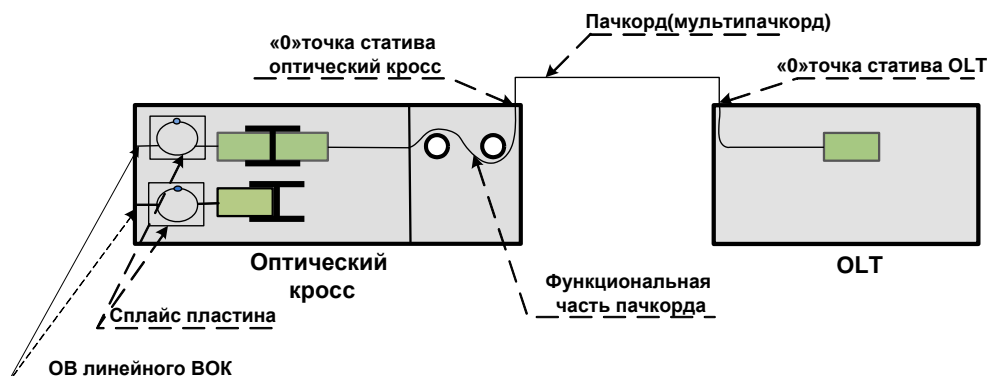


Рисунок 2.4 – Станционный участок

В случае ёмкости станционного модуля кросса 12 портов следует выбирать станционный кабель с ёмкостью модулей равной 12 или 4 ОВ, в случае ёмкости станционного модуля 16 портов необходимо, чтобы ёмкость модулей станционного кабеля составляла 4, 8 или 16 ОВ. Ёмкость модулей станционного кабеля определяется проектом: она составляет 8 ОВ, так как ёмкость станционного модуля 16 портов (17, 18 – запасные). Общая ёмкость тогда составляет 144 ОВ, поэтому на станционном участке применяется кабель ВОК-144. Схема кроссировочного соединения на КРОССе представлена в приложении Р, а схема прямой станционной муфты - в приложении С.

Линейный участок – участок от ODF до ОРКСп (от станционного до абонентского участка), складывающийся из магистрального и распределительного участка, включающий в себя такие пассивные компоненты GPON как: ВОК, муфты и/или распределительные шкафы (ОРШ), распределительные сплиттерные коробки (ОРКСп), оптические разветвители и коннекторы. Линейный участок определяет общую топологию GPON.

2.3.2 Проектирование магистрального участка. На участке сети GPON от кросса (ODF) до ОРШ или магистральной муфты со сплиттерами, относящихся к зоне обслуживания данного узлового района или АТС, так называемом магистральном участке, производится магистральное распределение ОВ. Главная задача магистрального участка – подвести требуемое количество ОВ максимально близко к сконцентрированной группе абонентов наилучшим способом, учитывая топологию GPON, а также ёмкость кабельной канализации. Рисунок В1 приложения В иллюстрирует общую схему построения PON сети, с применением муфт, ОРШ.

В зависимости от степени удалённости подключаемых к магистрали зданий, количества потенциальных абонентов в них, характера постройки (высотные или малоэтажные), особенностей городской застройки (офисы, жилые кварталы, исторический центр, промзона) и возможностей по прокладке ВОК по территории и размещению оборудования непосредственно в этих зданиях, дифференцируют 2 вида магистрального участка: зона прямого

питания и зона магистральной сети (приложение Г, рисунок Г1: кабели прямого питания обозначены красным цветом, магистральные кабели к ОРШ - зелёным, распределительные кабели - синим). Микрорайон «Жансая», на территории которого имеется 848 квартир (многоэтажная застройка), удалённый от АТС-34 на значительную дистанцию (2 километра 0,759), является зоной магистральной сети (приложение В, рисунок В2).

Выбор окончного устройства магистральной сети проводится нижеследующим способом: если застройка многоэтажная, плотность абонентов высокая и имеется помещение для внутренней установки, то выбирается ОРШ. Поскольку в 1-подъездных 9-этажных домах проекта плотность абонентов достаточно низкая и внутри домов нет места для установки ОРШ, а установка ОРШ вне помещения, не обеспечивающая гарантированный режимы температуры и влажности, нежелательна, то для проектирования магистрального участка в качестве окончного выбирается муфта со сплиттерами.

Для прокладки на магистральном участке PON района многоэтажной застройки, микрорайона «Жансая», от ODF до разветвительной муфты используются легко бронированные, выходящие из сетевого узла большой ёмкости (не менее 48 ОВ) ВОК-144 и ВОК-72 и стандартные волокна G-652.D (приложение В). С целью минимизации оптического бюджета магистрального участка на сварках ОВ и для уменьшения стоимости монтажно-строительных работ используется ВОК модульной конструкции, рассчитанный на прокладывание в канализации либо в грунте. Архитектуру прокладки оптических магистралей разрабатывают с привязкой к кабельной канализации, при этом проводится исследование возможности, способов прокладывания кабеля к жилым домам, планируются места под размещение разветвительных муфт (приложение Я). Необходимо, чтобы ёмкость магистрального ВОК, входящего в ОРШ, составляла не менее 48 ОВ, а ёмкость магистрального ВОК, входящего в магистральную муфту, - 12 волокон для малоэтажной застройки. В случае если застройка многоэтажная (пять этажей и выше), как например микрорайон «Жансая» г.Тараз, ёмкость магистрального кабеля, входящего в магистральную муфту, не менее 24 волокон – ВОК-24. Данное положение доказывается расчётом общей ёмкости кабеля и иллюстрируется приложениями, где показаны схемы разветвительных муфт (приложения Т,У).

Возможное количество задействованных (расчётная ёмкость) волокон магистрального кабеля определяется следующим образом: количество квартир охватываемого жилого квартала делим на 64, округляя полученное выражение до большего чётного целого. Общая ёмкость кабеля определяется как количество задействованных волокон плюс 30% резерв (волокна для нужд потенциальных корпоративных клиентов и школ, в данном случае СШ №42):

$$N_{ov} = \frac{N_{кв}}{64} \cdot 1,3 \quad (2.1)$$

где $N_{кв}$ – количество квартир в районе, планируемом к подключению;
 $N_{ов}$ - необходимое количество волокон магистрального ВОК.

Затем выбирается ВОК с типовым количеством волокон большим или равным расчётному. В случае 100% проникновения и как исключение в районах, где спрос потенциально высок, $N_{ов}$ считается по формуле:

$$N_{ов} = \frac{N_{кв}}{32} \cdot 1,3 \quad (2.2)$$

В микрорайоне «Жансая» прогнозируемая заинтересованность составляет 1/3, поэтому расчёт проводят по формуле (2.1):

$$N_{ов} = \frac{848(кв)}{64} \cdot 1,3 = 17,225$$

Выбирается ближайший по ёмкости кабель ёмкостью 24 волокна.

2.3.3 Проектирование распределительного участка. Распределительный участок сети GPON – участок от ОРШ или магистральных муфт со сплиттерами до ОРКСп 8-портовых с разъёмами SC/APC (этажных распределительных элементов сети в многоэтажных жилых зданиях). Распределительный участок включает участок от муфты со сплиттерами или уличного распределительного шкафа до ввода кабелей в квартирный дом, а также сами кабели, проложенные доме по существующим наименее загруженным вертикальным стоякам по принципу оптимальности и наименьших. При монтаже вертикального распределительного участка в здании руководствуются принципами: учитывается ряд характеристик здания, наиболее важными из которых являются количество квартир на этаже и возможность прокладки ВОК в вертикальных каналах здания.

Распределительный ВОК на вводе в квартирный дом до ОРКСп должен использоваться только с применением одномодового волокна (G.652.D), соответствующего основным характеристикам по видам применения прокладки (в канализации, в грунте, по существующим опорам) и по типам ввода в здание: воздушный – по внешней стене здания (подвеска ВОК в диэлектрическом исполнении на существующих опорах), используемый компаниями, у которых нет возможности арендовать существующую телефонную канализацию, например компанией «Beeline», либо в районах малоэтажной застройки при отсутствии телефонной канализации и подземный – через подвальное помещение или по внешней стене здания. Компания «Казахтелеком» прокладывает ВОК распределительной сети от разветвительной муфты или ОРШ по существующей телефонной канализации, а затем по фасадам или внутри зданий от подвального помещения или технического этажа по вертикальным стоякам, в случае их занятости или отсутствия в поливинилхлоридной или ПЭТ трубе, через все этажи с применением

разветвительной коробки протяжной для протяжки распределительного ВОК и абонентских оптических шнуров (приложение Ж). Направление выбирается по месту с учётом количества квартир на этаже.

В проекте для прокладки в выделенных стояках или закладных трубах от преддомовой магистральной муфты до группы ОРКСп, установленных на разных этажах, применяется диэлектрический ВОК для внутриобъектовой прокладки, имеющий негорючую оболочку и модульную структуру и стандартные волокна типа G-652.D. В этом случае подключение ОРКСп к контуру заземления в подъездах жилых домов не требуется. Диэлектрический кабель обеспечивает электробезопасность людей, проживающих в доме, и не требует специальных мероприятий по защите от напряжений и токов. Заземление металлической брони распределительного кабеля необходимо выполнять в магистральной муфте. Учитывая, что ёмкость распределительного кабеля, подводимого к многоквартирному дому, вводимого в подъезд и ОРКСп, должна составлять не менее 2 ОВ (стандартных емкостей: 2, 4, 8, 12, 16), при проектировании распределительного участка сети микрорайона «Жансая» для 1-подъездных 9-этажных и 2-подъездных 5-этажных домов применяется ВОК-4, для 4-подъездных 5-этажных домов - ВОК-8 (приложения Ф, Х, Ц, Ш, Щ, Э). Таким образом, происходит разделение волокон до 4 или 8 волокон на дом.

На распределительной сети GPON от ОРШ или магистральной муфты со сплиттерами до оконечных абонентских терминалов ONT соединение реализуется с помощью сплиттеров (пассивных оптических разветвителей), устанавливаемых в ОРКСп, или/и ОРШ, или/и магистральных муфтах.

2.3.4 Оптимальный выбор коэффициента деления сплиттеров. На стадии проектирования необходимо решить, как часто делить и насколько делить. С позиции самой технологии PON, абсолютно все равно как часто и насколько будет происходить деление сигнала, лишь бы выполнялись требования по бюджету мощности и количеству абонентов подключенных к элементарному дереву. Впрочем, можно выделить ряд явных зависимостей:

- чем больше коэффициент деления разветвителя, тем меньше доступная полоса для каждого абонента элементарного дерева;
- с увеличением потерь в сплиттере сокращается бюджет мощности на линейный кабельный участок, тем самым сокращается максимальная дальность передачи в ветви дерева;
- с увеличением коэффициента деления затраты на распределительный кабель и активное оборудование на узле доступа распределяются на большее число абонентов, что приводит к экономии на масштабе.

Однако общие затраты на строительство такой сети всегда снижаются с ростом коэффициента деления разветвителя (количества абонентов в дереве). С одной стороны, при учете конкретной максимальной удаленности абонента от узла доступа OLT увеличение потерь в сплиттере приводит к необходимости использовать более чувствительное оконечное оборудование ONU, что провоцирует рост затрат в пересчете на одного абонента. С другой стороны,

при условии максимально близкого размещения блока FDH (OP) к группе абонентов увеличение коэффициента деления приводит к увеличению длины кабеля (и объема соответствующих работ) на участке от OLT до OP. Принимая во внимание приведенные закономерности, производители оборудования для PON определили экономически оправданную величину коэффициента деления, которая по их оценкам лежит между 16 и 32.

На рисунке 2.5 показана зависимость дальности передачи, относительная величина полосы, доступной абоненту, а так же примерная величина затрат на одного абонента, от коэффициента деления оптического сплиттера. Кривая зависимости максимальной дальности передачи от коэффициента деления взяты из отчетов FSAN (отраслевой форум Full Service Access Networks).

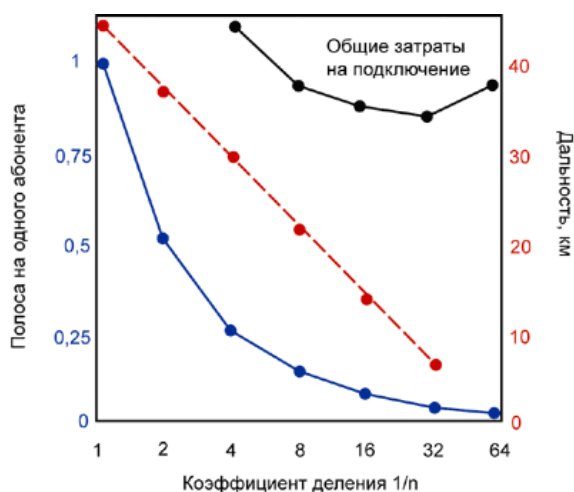


Рисунок 2.5 – Зависимость удаленности абонента и доступной полосы от коэффициента деления

Кривая является результатом моделирования работы симметричной сети PON (155 Мбит/с). Необходимо учитывать, что в отдельных практических ситуациях минимум может смещаться в сторону меньших значений коэффициента деления, например, группе абонентов ветви требуется большая полоса (это может быть актуально в условиях города для подключения офисных зданий, торговых центров).

Количество уровней каскадирования сети зависит от суммарного вносимого затухания сплиттеров, коэффициента ветвления GPON интерфейсов OLT. Необходимо учитывать, что минимальное количество уровней каскадирования сплиттеров упрощает сеть пользовательского доступа и сообразно ускоряет устранение неисправностей, повышает качество связи, исключая вероятные переходные искажения, возникающие при процессе многоступенчатой передачи сигналов. Для организации сети GPON в АО «Казахтелеком» принята двухкаскадная схема включения сплиттеров с суммарным коэффициентом ветвления 1:32. Схема включения сплиттеров с коэффициентами ветвления 1:4 и 1:8 показана в приложении Д.

Основным способом поэтажных горизонтальных ответвлений от

межэтажного вертикального ВОК является классическая схема с ОРКСп, размещаемых на третьем этаже пятиэтажного дома, и третьем и седьмом этажах девятиэтажного дома. На рисунке Е1 приложения Е приведены типовые решения построения распределительного участка PON 1 этапа для типовых домов, используемых при проектировании микрорайона «Жансая» города Тараз, в случае нетиповых домов требуются отдельные проектные решения. Общее число вертикальных кабелей обычно выбирают, принимая во внимание этажность здания и число подъездов, количество волокон в кабелях, подаваемых на вход сплиттерной коробки (одно волокно резервное) выбирают не менее двух, то есть исходя из количества пользователей на этаже, количества сплиттеров в подъезде и резервных ОВ. В дипломном проекте на подъезд 9-этажного здания подаётся один четырёхволоконный кабель, прокладываемый в вертикальных стояках, а на подъезд 5-этажного здания подаётся один двухволоконный кабель (приложения Ф, Х, Ц, Ш, Щ, Э).

ОРКСп имеют небольшие размеры и устанавливаются с учетом прокладки кабелей абонентской проводки от ОРКСп не более чем на 2 этажа вверх и 2 этажа вниз: обслуживание не более пяти этажей. При малой плотности потребления услуг зона, обслуживаемая 1 ОРКСп, составляет от двух до трёх этажей. Если количество пользователей на этаже невелико, то к ОРКСп подключаются квартиры смежных этажей. Каждая ОРКСп должна содержать не менее 10 оптических розеток для размещения портов сплиттера, рабочего и резервного ОВ. Для соединения абонентских (горизонтальных) шнуров с волокнами кабеля, протягивающегося между этажами и называемого вертикальным, используются коннекторы в применяемых в проекте этажных коробках ОРКСп-8.

2.3.5 Проектирование абонентского участка. Абонентским участком, или персональной абонентской разводкой ВОК называют участок сети между ОРКСп этажной и помещением абонента, в том числе абонентскую оптическую розетку и внутриквартирную разводку кабелем UTP от ОРА до индивидуального активного оконечного оборудования на стороне абонента (ONT, ONU), находящегося под управлением оператора, к терминалам, установленным в квартире абонента (рисунок 2.6). Назначение ОРКСп – соединение волокон из распределительного кабеля с волокнами drop-кабеля. При проектировании для прокладки от ОРКСп до ОРА в помещении пользователя используется сверхгибкий одноволоконный drop-кабель (горизонтальный участок абонентского ВОК). Рекомендация G.657.A, по которой изготовлен данный кабель, делает возможной прокладку его по квартире клиента, или по кабельному каналу, или по плинтусу, по причине нечувствительности волокон к малым радиусам изгиба. Средняя длина ВОК составляет 20 метров. Конструкция кабеля такова, что нет необходимости разрезать его целиком, достаточно сделать маленький разрез, чтобы извлечь нужное число волокон. Одна ОРКСп позволяет ответить до 5 drop-кабелей, каждый из которых на лестничной площадке должен быть защищен

пластиковым кабельгоном. Длина патчкорда, прокладываемого от ОРА до ОНТ - два метра, а длина патчкорда UTP Cat.5е с разъёмами RJ-45, протягиваемого от ОНТ до PC абонента составляет пять метров. ОНТ содержит входной интерфейс PON и разнообразное сочетание и количество выходных интерфейсов, подключающихся к терминалам, таких как BRI, RF, Wi-Fi, FXS, FXO, 10/100/1000Base-T.

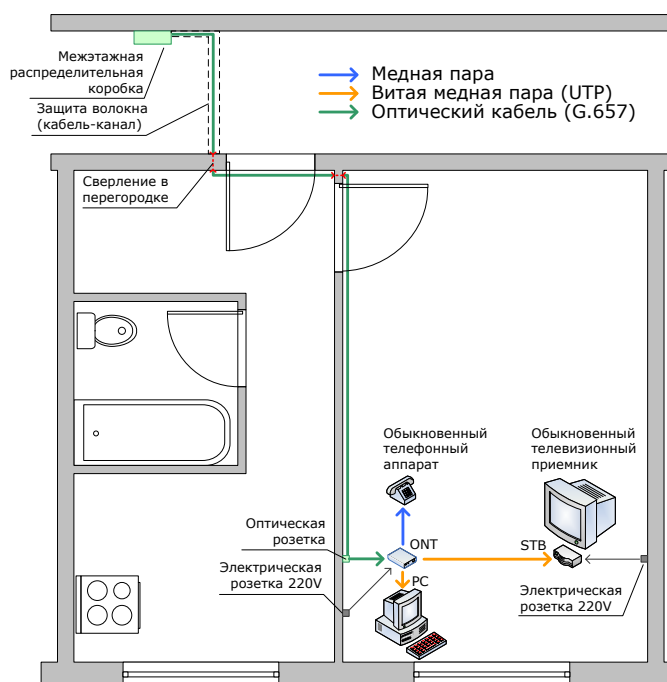


Рисунок 2.6 - Вариант прокладки абонентской разводки при установке ОРА (оптической розетки) и ОНТ в помещении, где располагаются PC, TV и ТА

Приложение М иллюстрирует план третьего этажа, где расположено оборудование, трассу прокладки кабеля в шахте, приложения Ю, Я - разработанную схему распределительной сети GPON. Более подробно оборудование, используемое при проектировании, описывается в следующем разделе.

3 Оборудование проектируемой сети доступа GPON

3.1 Выбор производителя оборудования

При выборе производителя оборудования надлежит учесть то обстоятельство, что на данный момент в Казахстане активное телекоммуникационное оборудование, в отличие от пассивного, не производится, поэтому казахстанские операторы сетей связи вынуждены закупать OLT, ONT у ведущих мировых производителей продукции для сетей телекоммуникаций, таких как Alcatel, Huawei, D-Link, CISCO, ECI Telecom, Siemens, Huawei, ADC Teledata и др. Основные характеристики при выборе оборудования:

- стоимость одной абонентской линии;
- адаптация системы уплотнения на существующей сети ГТС;
- количество задействованных волокон;
- предоставляемые услуги;
- расходуемая мощность оборудования;
- модульность и перспектива расширения сети.

Из сравнительного анализа рынка активного оборудования пассивных оптических сетей выбрали оборудование, выпускаемое компанией ECI Telecom. Семейство продуктов Hi-FOCuS от ECI Telecom представляет собой универсальное решение для передачи данных услуг «triple play» между поставщиками услуг и клиентами по одному пассивному оптоволоконному кабелю вплоть до площадки клиента. Главное преимущество оборудования ECI Telecom - возможность масштабирования, позволяющая операторам сетей доступа управлять размером и темпами роста своих сетей согласно бюджету и требованиям. MSAN (мультисервисный абонентский доступ) Hi-FOCuS обладает уникальными возможностями расширения коммутационной емкости - от 100 Гбит/с до невероятных скоростей порядка 1 Тбит/с. Таким образом, оператор может начать с малого и постепенно наращивать емкость без необоснованных инвестиций в неиспользуемые ресурсы. Высокоэффективное ядро и возможности восходящей передачи данных платформы MSAN Hi-FOCuS способны обеспечить поддержку нескольких восходящих каналов 10 Гбит/с с общей матрицей коммутации до 1Тб/с на основе четырехзвездной структуры. Программируемые сетевые процессоры (NP - Network Processor) представляют собой мощные ЦП с возможностью мгновенного перепрограммирования для динамической обработки услуг и сервисных требований.

3.2 Техническое решение по построению сети GPON

ECI Telecom предлагает решение по построению сети GPON на базе продукта Hi-FOCuS 5 департамента NSD.

3.2.1 Постановка задачи: Требуется организация сети связи по технологии GPON для подключения 15 жилых домов микрорайона «Жансая» в режиме пилотного проекта. Особые требования:

- Узел OLT должен быть укомплектован как минимум 15 портами GPON с возможностью подключения 848 абонентов с коэффициентом деления не более 1:32.

- Узел OLT должен быть укомплектован интерфейсом 1GbE по одномодовому оптическому кабелю.

- Кол-во подключаемых абонентов – 848.

- Абонентские терминалы ONT (в кол-ве 848 штук) должны иметь порты ПД и порты ТфОП.

- Предоставляемые услуги: услуги IPTV, Интернет-доступ, услуги голосовой связи по протоколу SIP (в связке с уже установленным программным коммутатором производства компании Broadworks).

3.2.2 Предложение по GPON. При проектировании сети GPON необходимо помнить о том, что её основной задачей является эффективное предоставление услуг Triple Play, гарантирующее возрастающие требования абонентов к их качеству. Только гибкая и легко масштабируемая сеть, справляющаяся как с ежедневно растущим числом абонентов, так и с ростом трафика, связанного с развёртыванием новых сервисов, способна справиться с этой сложной задачей. Данное предложение построено с расчётом минимизации капиталозатрат на пилотный проект и с учётом возможности расширения и масштабирования сети: подключения близлежащих микрорайонов, входящих в зону обслуживания АТС-34, таких как «Акбулак», «Каратау», «Байтерек», а также улиц Тауке Хана, Жансугурова и Толе би. Внедрение комплекса оборудования Hi-FOCuS 5 для массовых установок предполагает использование сверхэффективного набора карт, позволяющего увеличить как ёмкость устройства, так и экономические показатели проекта.

Стандартная сеть GPON состоит из следующих элементов:

- *OLT (терминал оптической линии)*: OLT агрегирует трафик GPON в направлении IP-сети по нескольким линиям связи GbE или 10 GbE;

- *ONT (оптический сетевой терминал)*: ONT представляет собой расположенное в помещении устройство для преобразования оптического потока данных в поток Ethernet. Обычно используется в сетях, построенных на концепции FTTP и FTTH;

- *ONU (оптический сетевой блок)*: к ONU подключаются

оптоволоконные линии с последующим подключением к нескольким конечным пользователям. Расположен, как правило, в подвальных помещениях или кабельном колодце и используется в сетях, построенных на концепции FTTN, FTTC, или FTTB;

– *ODN (оптическая распределительная сеть)*: ODN состоит из оптоволоконных кабелей и разветвителей, подключающих OLT к ONU и ONT. Используются пассивные разветвители, распределяющие сигнал от оптоволоконного OTU на все оптоволоконные кабели OLT, находящиеся ниже по сети.

Предлагаемый комплекс оборудования представлен на ниже приведенной схеме:

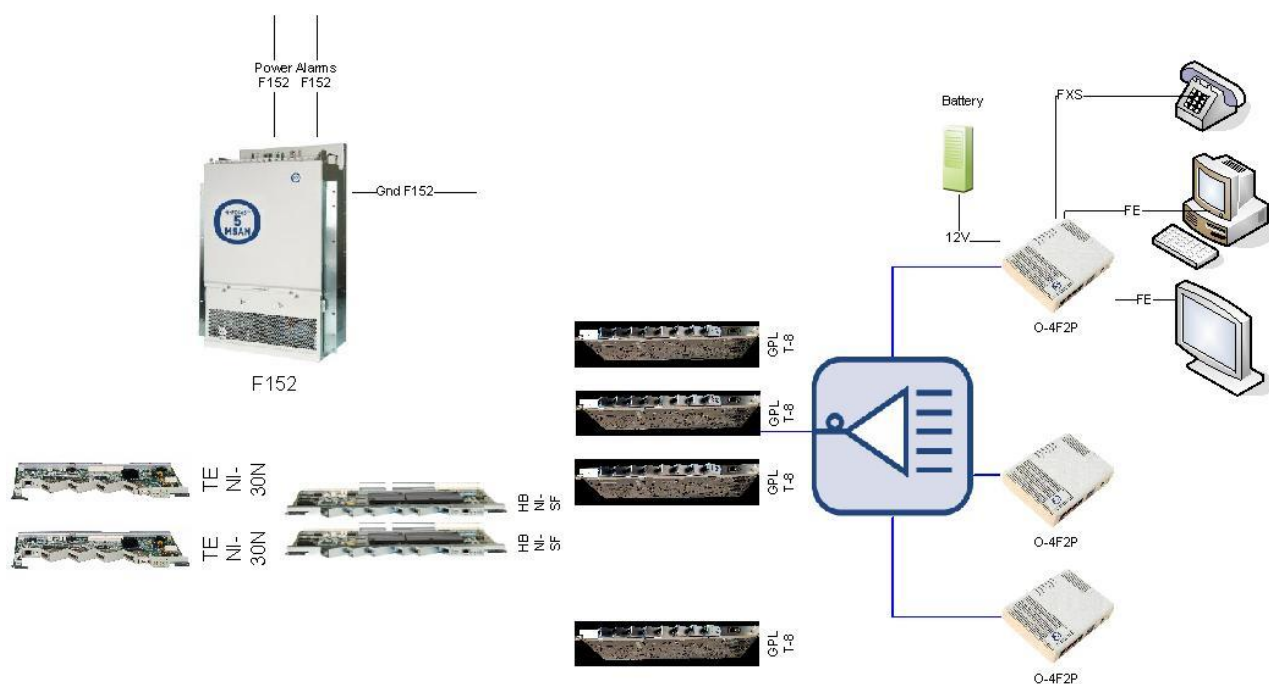


Рисунок 3.1 – Комплекс оборудования для использования в массовых установках, включая организацию сети связи по технологии GPON в режиме пилотного проекта для подключения 15 жилых домов

В предложение включены пассивные компоненты и следующее основное активное оконечное оборудование: станционный оптический блок OLT HI-FOCUS 5 F152-HB и абонентский оптический блок ONT B-FOCUS O-4G2PW/O-4F2PW. ONU не включён в данное предложение, поскольку сеть строится на концепции FTTN. Для предоставления услуг аналогового ТВ требуется замена предлагаемых терминалов на другую модель и установка стандартного VOLT, также не являющегося частью данного предложения. Поэтому в проекте рассматривается только подключение IPTV без кабельного телевидения (CATV).

3.3 Техническое описание оптического терминала линии OLT Hi-FOCUS 5 F152-HB

3.3.1 Преимущества оборудования. Внешний вид узла OLT представлен на рисунке И1 приложения И. Предложенный элемент основан на корзине F152-HB модульного исполнения с использованием технологии GPON, а также абонентских терминалов ONT GPON с функционалом IAD. Крупное модульное станционное оборудование - это широкоуниверсальная платформа, предоставляющая услуги ШПД. Все остальные услуги предоставляются по инфраструктуре пакетной коммутации поверх линий связи GPON. В частности – услуги ТфОП предоставляются по протоколу VoIP/SIP уже от терминала, установленного у заказчика либо с помощью SIP-телефона. Это позволяет получить следующие преимущества:

- Высокая ёмкость узла при небольших физических размерах;
- Управление всей сетью, в т.ч. и абонентскими терминалами, осуществляется из центра;
- Из-за большой дальности работы технологии GPON узел может обслуживать несколько не слишком удаленных географических локаций. Диаметр покрытия сети – от 20 до 50 км;
- Весь возможный набор лицензий ПО на линии, позволяющий в полной мере использовать заявленную функциональность. Для включения дополнительных услуг (например, IPTV), покупки дополнительных лицензий не требуется.

3.3.2 Услуги, предоставляемые типовым узлом:

- Услуги ТфОП по VoIP с помощью портов FXS на борту абонентских терминалов;
- Терминал доступа является голосовым шлюзом под управлением централизованного программного коммутатора по протоколу SIP;
- Услуги ПД;
- Интернет-доступ;
- IPTV и сопутствующие услуги – VoD, TSTV и пр.
- Дополнительные услуги связи (VPN и т.п.);
- Услуги аналогового ТВ – в случае использования терминала ONT O-4F2P1R;
- Опционально – возможно использование батареи для защиты предоставляемых услуг при перебоях электропитания в домах абонентов.

Для успешной реализации услуг передачи видео в платформе MSAN Hi-FOCuS от ECI Telecom предусмотрены средства мгновенного выделения полосы пропускания, являющейся высокоскоростной и неблокируемой. Оптимизация услуг передачи видео происходит за счёт оптимальной иерархической репликации потоков для ресурсоемких мультимедийных

приложений (IP-телевидение с групповой адресацией, VoD, nPVR). Передача речи осуществляется с помощью технологии VoIP с использованием медиашлюза, встроенного в ONT, и внешнего медиашлюза. Передача IP-данных происходит за счёт прямого подключения к сетям IP по интерфейсам на основе Ethernet.

3.3.3 Интерфейсы OLT. Благодаря модулям сетевых интерфейсов, аплинкам PON, коммутации на оптокроссе, к шасси подключаются как частные и небольшие корпоративные абоненты, так и более крупные клиенты. Интерфейсами OLT являются:

– 13 карт (слотов, модулей) под абонентские модули (трибутарные/линейные платы GPON, осуществляющие соединение абонентов и поддерживающие все типы абонентского трафика услуг) с пропускной способностью 10 Гбит/с, позволяющей предотвратить дефицит полосы пропускания, по 8 портов (GPLT-8) или 16 портов (аплинков) (GPLT-16) со сменными оптическими модулями GPON SFP для класса B+ либо C+ . Класс B+ определяет оптический баланс 28,5 дБ, класс C+ определяет баланс 32,5 дБ с усилением FEC. Расстояние оптической передачи: 20 км, логическое расстояние: 60 км. На узел приходится до 13 карт, до 104 деревьев GPON, до 3328 ONT при коэффициенте деления 1:32. На одну ветку (аплинк/порт) приходится 64 абонента, а на одно дерево - 4 порта, или 256 абонентов, тогда на одну плату в случае 16 портов приходится 4 дерева, в случае 8 портов – 2 дерева. Итого 13 плат рассчитаны на 52 дерева при 16 портах или на 26 деревьев при 8 портах. Таким образом, 13 карт под абонентские модули позволяют подключить до 13312 ONT, если на одной карте находится 16 портов, или до 6656 ONT, если на одной карте находится 8 портов, при 64 ONT на аплинке, что позволяет подключить районы с высокой плотностью пользователей, как например, микрорайоны и улицы города Тараз;

– платы сетевого интерфейса (NI), подключаемые к сети: две карты HBNI-SF и два слота для модулей: TENI-30N: 10x1GE, SFP, 2x10GE, XFP и ENI-416: 4x10GE, XFP и 8x1GE, SFP. Две карты TENI-30N с установкой в слоты общего пользования служат для подключения к сети ME с общей емкостью интерфейсов до 30 Gb/s, либо еще больше карт и большей емкостью – за счет использования меньшего кол-ва карт GPLT-8 с возможностью защиты 1+1 либо 1:1. Две карты HBNI-SF устанавливаются в слоты концентрирующих карт, которые являются только коммутирующими картами с общей емкостью коммутации 400Gb/s и возможностью защиты 1+1. Уникальная конструкция платы HBNI (сетевой IP-интерфейс) позволяет достичь исключительно высокой плотности на одной плате и обеспечить широкую полосу пропускания в направлении сети и линейных плат посредством сдвоенной объединительной панели 1 GbE и 10 GbE, изображённой на рисунке 3.2;

- два слота HBSF модулей, осуществляющих управление и коммутацию;
- один порт управления 10/100 Base-TX.

Внутренняя высокоёмкостная высокоскоростная объединительная панель передаёт трафик прозрачно от одного интерфейса к другому на скорости оптоволоконна. OLT агрегирует трафик GPON в направлении IP-сетей по портам GbE или 10 GbE. Так как основным назначением GPON является реализация услуг, требующих широкой полосы пропускания, крайне желательно обеспечить не менее двух подключений 10 GbE к сети.

Шасси используется в качестве интегрированного опорного узла сети провайдера вследствие поддержки маршрутизации, в нём имеются две коммутационные матрицы ёмкостью 600 Гбит/с, работающие по принципу 1+1, два модуля, на каждом из которых есть четыре порта 10G и 8 портов 10GE. С помощью данных портов модули включаются в транспортные сети. Обеспечивается полный резерв блоков питания, в результате чего достигаются высокие значения показателей надёжности работы системы.

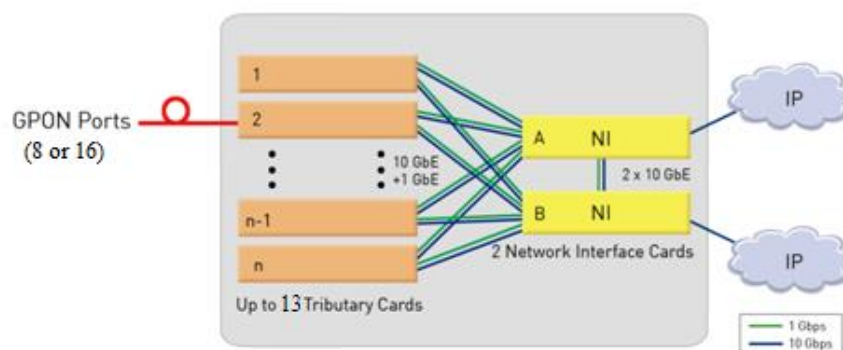


Рисунок 03.2 – Архитектура OLT Hi-FOCuS F152-NB

3.3.4 Управление сетью. Управление всей сетью GPON, в т.ч. и выносными терминалами ONT/ONU, осуществляется с помощью системы управления сетевыми элементами (EMS) E-OPS, управляющей существующей сетью xDSL, из центрального сервера управления на базе станции SUN T5120 со следующими ёмкостями:

- До 2000 тыс. сетевых элементов либо 600 тыс. абонентов;
- До 50 одновременно открытых сессий клиентского Web-интерфейса инженеров поддержки.

EMS E-OPS включает средства для автоматизации, проектирования, конфигурирования сетевых топологий, обнаружения и устранения неисправностей, управления конфигурациями и средствами защиты, мониторинга производительности на базе единого унифицированного графического интерфейса пользователя, удалённого обслуживания сети. Возможность единого унифицированного обзора позволяет операторам управлять всеми платформами Hi-FOCuS. Поддерживается управление технологиями VDSL2, GPON, групповой адресации и VoIP с сигнализацией H.248.

3.4 Техническое описание оптического многопользовательского абонентского терминала ONT B-FOCUS O-4G2PW/ O-4F2PW

Семейство продуктов B-FOCuS включает широкий диапазон оптических сетевых терминалов и блоков для подключения оптоволоконных кабелей GPON на последней миле, на минимальном возможном расстоянии от абонента. Терминал подключается к одножильному волокну оптоволоконного кабеля на стороне ODN и к абонентскому оборудованию на другой стороне. Оптические сетевые терминалы B-FOCuS GPON (ONT) поддерживают передачу вниз по сети на 2,5 Гбит/с и вверх по сети - на 1,25 Гбит/с. Для организации сети GPON требуются 848 терминалов ONT для настенной либо настольной установки. В зависимости от требований абонентов используются типы терминалов: O-4F2P (4×FE, 2×FXS), O-4F2P1R (4×FE, 2×FXS, 1×RF), и O-4G2PW/ O-4F2PW (4×10/100/1000 BaseT + 2×FXS +WiFi). Последнему типу оборудования отдаёт предпочтение большая часть абонентов.

3.4.1 Общая характеристика. Оконечное абонентское оборудование ШПД ФТНН изготовлено в соответствии со спецификацией ITU-T G.984, предназначено для внутренней установки. Терминал обеспечивает доставку услуг Triple Play на базе IP\Ethernet протоколов, помещается в компактный современный корпус. Одиночное соединение Ethernet 100/1000 Мбит/с предоставляет полосу пропускания для потоковой передачи IP-телевидения и доступа в Интернет. С помощью WAN-порта, Telnet происходит организация удалённого управления, обеспечивающего предоставление доступа с целью настройки каждому абоненту по стандарту OMCI. Для управления объектами в сети связи используется MIB. Поддерживается протокол TR069.

Рисунок 3.3 иллюстрирует сетевые интерфейсы оптического терминала. Подробное характеристика сетевых интерфейсов и индикация терминала приведены в приложении К таблице К1. Внешний вид оборудования представлен на рисунке К1, индикаторы - на рисунке К2.

3.4.2 Услуги Triple Play. Терминал обладает четырьмя GigabitEthernet или FastEthernet портами, поставляющими клиентам услуги ПД, и двумя аналоговыми телефонными портами для телефонии, а также модулем Wi-Fi. Оборудование предоставляет услуги высокоскоростного доступа к интернету, цифрового телевидения на основе IPTV технологии, телефонии поверх IP, RF видео по запросу, позволяет организовать VLAN L2\L3.

3.4.3 Область применения ONT. К сети посредством терминала подключаются частные и корпоративные потребители услуг. Оборудование устанавливается внутри зданий в вертикальном и горизонтальном положении. (конфиденциальная информация)

3.4 Пассивные компоненты сети GPON

К основным пассивным компонентам оптической сети, используемым при проектировании сети GPON микрорайона «Жансая» города Тараз относятся: оптические кабели, оптические соединители, оптические разветвители (сплиттеры), оптические соединительные муфты для сети, оптический кросс (ODF), оптические распределительные сплиттерные коробки (ОРКСп), оптические абонентские розетки (ОРА), оптические шнуры. Основным поставщиком пассивного оборудования является компания «KAZCENTRELECTROPROVOD» - крупнейший в Казахстане производитель продукции высочайшего качества для сетей телекоммуникаций под брендом «ЗМ».

3.4.1 Выбор оптического кросса ODF. Оптический кросс (полка) выполняет функцию коммутации оптических кабелей, патчкордов и стационарного оборудования. Назначение применяемого кросса ЗМ RFO открытого типа (рисунок 3.3) - монтаж на узлах телекоммуникаций.



Рисунок 0.3 - Стационарный оптический кросс «ЗМ RFO»

Выбор обусловлен тем, что модульная конструкция кросса (поворачивающиеся модули) оптимизирована под ограниченное пространство и делает возможным наращивание ёмкости кросса согласно с необходимостью. На один блок приходится 72, 96 или 144 порта. При проектировании используется кросс с количеством портов 144 на блок (всего 11 блоков, рассчитанных на 1584 порта, высота стойки 3 метра 0,25). Модули

универсальны, обустроены согласно типу кабеля и виду коммутации, оснащены системой крепления соединительного модуля и вводимого оптоволоконна с пространством для укладывания его избытка, органайзером оптических шнуров. В сплайс-кассетах в соответствующих местах установлены PLC сплиттеры (1×2, 1×4, 1×8).

3.4.2 Выбор прямой шахтной муфты. Прямая муфта ШМ-01-144-6-100 (цифра 144 обозначает ёмкость, 6 –число оптических кассет ОК24, 100 – количество комплектов для защиты 567 сварных соединений), представленная на рисунке 3.5, устанавливается в шахте станции АТС-34 (приложение С). Посредством муфты оптический кабель переходит в стационарный.



Рисунок 0.5 – Шахтная муфта «ШМ-01-144-6-100»

3.4.3 Выбор разветвительных и магистральных муфт. При проектировании выбрали муфты «3М ВРЕО» по причине их совместимости с любой сетью и кабелем и компактности их конструкции, допускающей их размещение в затруднительных узких местах. Благодаря этим муфтам возможно соединение 288 оптоволокон, а также подключение нового кабеля, не нарушая работу существующего. В сплайс-кассетах располагаются сварные соединения, происходит укладка запаса оптоволоконна. Организации оптоволоконна реализуется в муфтах с помощью органайзеров ВРЕО (рисунок 3.6).



I органайзер содержит 12 кассет, его ёмкость - 144 сварных соединений/72 механических, II - 24 кассеты, ёмкость - 336 сварных соединений/168 механических. III - 48 кассет, ёмкость - 576 сварных соединений/288 механических.

Рисунок 0.6 – Муфты «3М ВРЕО»

Кассеты не повреждаются при открытии муфт благодаря хорошо спроектированной конструкции внутренней области муфт.

3.4.4. Выбор оптических разветвителей (сплиттеров). Сплиттеры применяются для ответвления мощности оптического сигнала, то есть его деления на входе между абонентами на определённое число выходных посредством разветвления оптоволокон на участках станционном и линейном (в оптокроссе, муфтах, распределительных шкафах, этажных коробках, устройствах АД), объединения сигналов из нескольких каналов в один. Сплиттеры изготавливаются по двум технологиям: сварной FBT и планарной PLC. В разветвителях осуществляется деление светового потока. Конфигурации (коэффициенты) сплиттеров: 1×2, 1×4, 1×8, 1×16, 1×32, 1×64. При проектировании сети GPON микрорайона «Жансая» города Тараз были использованы PLC разветвители 1×4, 1×8 (рисунок 3.7). В сетях WDM нашли широкое применение двухоконные одномодовые сплиттеры, работающие на длинах волн широкого диапазона: (1260÷1360 нм, 1450÷1650 нм). Сплиттеры не требуют обслуживания, могут оснащаться различными разъёмами (FC, SC, LC), иметь различный тип полировки соединителей (SPC, UPC, APC) и корпус, минимальные размеры сплиттера 7×4×55 мм, таким образом, сплиттеры обеспечивают гибкость монтажа и, соответственно, архитектуры сети.



Рисунок 3.7 – Оптические сплиттеры PLC «ЗМ»

3.5 Волоконно-оптические кабели для построения сети GPON

3.5.1 Выбор типа оптических волокон. В сетях PON преимущественно используют одномодовые волокна, обеспечивающие передачу сигналов на большие расстояния. Согласно требованиям по Рекомендации ITU-T G.983, при построении PON следует использовать ВОК, осуществляющие передачу сигнала на длинах волн 1310, 1490, 1550 нм, с одномодовыми ОВ в соответствии с Рекомендациями ITU-T G.652 (11/2009) или совместимые с ними ОВ в соответствии с Рекомендациями ITU-T G.657 (11/2009). На магистральной сети до ОРШ и распределительной сети до ОРКСп (на магистральном участке и на распределительном участке) должны применяться стандартные оптоволоконные кабели с одномодовыми ОВ в соответствии с

Рекомендациями ITU-T G.652, предназначенные для прокладки ВОЛС в телефонной канализации. На абонентском участке должны применяться гибкие кабелями с волокнами G.657 А, совместимыми при сварке с волокнами G.652 D.

3.5.2 Выбор кабеля в зависимости от участка сети. Для правильного выбора оптических кабелей для сетей доступа и входящих в них оптических волокон, сначала нужно определиться на каких участках (магистральных, распределительных, абонентских и т.п.) кабели будут использоваться. Магистральные участки, соединяющие узел связи (головную станцию) с первой точкой распределения, являются наиболее протяженными и ответственными - при их повреждении нарушается работа всей сети. Поэтому условия их прокладки и применяемые кабели должны обеспечивать максимальную надежность. Здесь не стоит экономить на стоимости ОК, затратах на монтаж и прокладку. Тем более, что длина магистралей обычно меньше суммарной длины распределительных и абонентских участков. В конструкции магистральных кабелей обязательно должен быть предусмотрен запас волокон на последующее развитие сети. Это не повлияет существенно на общую стоимость ОК, но наверняка снимет некоторую «головную боль» в будущем. На распределительных участках, располагающихся между отдельными распределительными устройствами (шкафами, боксами, разветвителями), можно использовать менее дорогостоящие кабели. Для этих кабелей характерна прокладка в самых разнообразных условиях, которые и определяют их конструкцию. Они имеют меньшую длину и их проще заменить при повреждении. Но это не значит, что нужно пренебречь надежностью конструкций. При выборе таких ОК обычно исходят из компромисса между ценой и качеством. Чаще в них присутствует запас волокон, но небольшой, так как при развитии сети иногда проще доложить новый кабель. Кабели абонентских участков, доходящие до оконечных устройств пользователей, имеют самую малую длину, но самое большое количество участков. Но это не означает, что нужно искать самые дешевые конструкции. Во-первых, абонентские ОК обычно проходят внутри зданий, где могут повреждаться грызунами, и внутри помещений, где их часто повреждают сами пользователи. Поэтому, в зависимости от условий, ОК должны иметь необходимые элементы для защиты волокон. Во-вторых, абонентские кабели, проходящие внутри зданий, обязательно должны иметь наружную оболочку, не распространяющую горение, поскольку кабели часто проходят между несколькими помещениями. Запас по волокнам на этом участке в кабелях обычно не закладывают.

4 Технический расчёт проектируемой сети доступа GPON

4.1 Расчёт основных параметров оптического волокна

Рассчитаем параметры одномодового оптического волокна G 652.D, G 657.A1, параметры которых приведены в таблице 3.1, для рабочей длины волны 1310 нм. Расчёт по формулам (4.1-4.32) выполнен в программе Mathcad и приведён в приложении Н.

Исходные данные (таблица 3.3):

1. Диаметр оптической сердцевины: $d = 2a = 9$ (мкм);
2. Диаметр оптической оболочки: $d = 2b = 125$ (мкм);
3. Показатели преломления:
 - Оптической сердцевины: $n_1 = 1,4677$ (ОВ G 652.D);
 $n_1 = 1,4679$ (ОВ G 657.A1);
 - Оптической оболочки: $n_2 = 1,463$;
4. Длины волн оптической несущей: $\lambda = 1,31$ (мкм), ширина спектральной линии излучения лазерного диода: $\delta(\lambda) = 0,1$ (нм);
5. Удельные километрические дисперсии для $\lambda = 1,31$ (мкм):
 - Материальная: $M(\lambda) = -5$ (пс/(км·нм));
 - Волноводная: $B(\lambda) = 8$ (пс/(км·нм));

Расчёт выполняется согласно следующему алгоритму:

1. Относительное значение показателя преломления:

$$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (4.1)$$

2. Числовая апертура и апертурный угол:

$$NA = \sin \theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (4.2)$$

$$\eta = NA^2 = 0,01377429 \approx 0,014 \quad (4.3)$$

$$\theta_A = \arcsin(NA) \quad (4.4)$$

3. Нормированная частота:

$$V = \frac{2\pi \cdot NA \cdot a}{\lambda} = \frac{\pi \cdot d \cdot NA}{\lambda} \quad (4.5)$$

4. Критическая частота:

$$f_{KP} = \frac{P_{nm} \cdot c}{\pi \cdot d \cdot NA} \quad (4.6)$$

где: $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света;
 $P_{nm} = 2,405$ – параметр, характеризующий тип волны.

5. Критическая длина волны:

$$\lambda_{KP} = \frac{\pi \cdot d \cdot NA}{P_{nm} \cdot n_1} \text{ (м)} \quad (4.7)$$

6. Длина волны отсечки:

$$\lambda_{OTC} = \pi \cdot d \cdot \frac{NA}{2,405} \quad (4.8)$$

7. Эффективный диаметр поля моды:

$$\omega \approx d \cdot (0,65 + 1,62 \cdot V^{-3/2} + 2,879 \cdot V^{-6}) \quad (4.9)$$

8. Эффективная площадь модового поля:

$$A_{ЭФ} = \frac{\pi \cdot \omega^2}{4} \quad (4.10)$$

9. Затухание, вызванное рассеянием Релея:

$$\alpha_{РАСС}(\lambda) = 4,34 \cdot \frac{8\pi^3}{3 \cdot \lambda^4} \cdot (n_1^2(\lambda) - 1) \cdot \beta \cdot k \cdot T \cdot 10^3 \quad (4.11)$$

$$\alpha_{РАСС}(\lambda) = C' \cdot \frac{(n_1^2(\lambda) - 1)}{\lambda^4} \quad (4.12)$$

$$C' = 0,6 \left(\frac{ДБМКМ^4}{КМ} \right)$$

10. Коэффициент затухания в ультрафиолетовой области:

$$\alpha_{УФ} = \frac{10^{\frac{2}{\lambda(MKM)}}}{2154} \quad (4.13)$$

11. Коэффициент затухания в инфракрасной области:

$$\alpha_{ИФ} = 10^{\frac{-21,9}{\lambda(MKM)} + 12,4} \quad (4.14)$$

12. Суммарное значение коэффициента затухания

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{PACC} + \alpha_{HK} + \alpha_{УФ} \quad (4.15)$$

13. Потери на поглощение:

$$\alpha_{\Pi} = 8,69 \cdot \frac{\pi \cdot n_1 \cdot \text{TAN } \sigma}{\lambda(KM)} \text{ (Дб/км)} \quad (4.16)$$

14. Суммарное значение коэффициента затухания:

$$\alpha_{\Sigma} = \alpha_{PACC} + \alpha_{\Pi} \quad (4.17)$$

15. Собственные потери:

$$\alpha = \alpha_{\Sigma} + \alpha_{\Sigma} \cdot 0,2 \quad (4.18)$$

16. Затухание на макроизгибах:

$$\alpha_{МАКР} = -10 \cdot \text{LG}\left(1 - \frac{2 \cdot A \cdot N_1^2}{R \cdot NA^2}\right) \quad (4.19)$$

17. Затухание на микроизгибах. Дополнительные потери при сращивании.

$$\alpha_{ПОГ} = 4,34 \cdot \left[\frac{\Delta W}{W}\right]^2 \quad (4.20)$$

18. Километрическая материальная дисперсия:

$$\tau_M = \Delta\lambda \cdot M(\lambda) \quad (4.21)$$

19. Волноводная километрическая дисперсия:

$$\tau_B = \Delta\lambda \cdot B(\lambda) \quad (4.22)$$

20. Суммарная километрическая дисперсия:

$$\tau = \tau_M + \tau_B \quad (4.23)$$

21. Километрическая полоса пропускания:

$$\Delta F_1 = B_1 = \frac{1}{|\tau|} \quad (4.24)$$

22. Полоса пропускания для тракта длиной l :

$$\Delta F = \frac{\Delta F_1}{L} \quad (4.25)$$

23. Коэффициент удельной хроматической дисперсии:

$$D(\lambda) = M(\lambda) + B(\lambda) \quad (4.26)$$

24. Материальная дисперсия:

$$\tau_M = \Delta\lambda \cdot M(\lambda) \cdot l \quad (4.27)$$

25. Волноводная дисперсия:

$$\tau_B = \Delta\lambda \cdot B(\lambda) \cdot l \quad (4.28)$$

26. Результирующая (хроматическая) дисперсия:

$$\tau = \tau_M + \tau_B \quad (4.29)$$

27. Пропускная способность:

$$\Delta F = \frac{1}{|\tau|} \quad (4.30)$$

28. Границы измерения фазовой скорости определяются

$$\frac{c}{N_1} < v < \frac{c}{N_2} \quad (4.31)$$

29. Границы измерения волнового сопротивления

$$\frac{Z_0}{N_1} < Z < \frac{Z_0}{N_2} \quad (4.32)$$

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

4.2 Расчёт оптического бюджета при построении PON дерева

Основным ограничением оптической сети доступа является оптический бюджет – максимальная величина затухания в оптоволокне от точки подключения оптоволокна (станционного порта) на OLT (оптический передатчик) на АТС вплоть до наиболее удалённого абонентского ONT (оптический приёмник); допустимые потери, которые могут быть выдержаны до того, как доступ прекратится. Окончательный расчёт оптического бюджета производится на основании технических данных производителя активного оборудования, ВОК и компонентов сети. Достаточно рассчитать ослабление

сигнала в одном канале OLT-ONT (рисунок 4.1). Типовой расчет оптического бюджета должен учитывать потери, связанные с архитектурой и технологией сети, источниками которых являются:

- затухание в оптоволокне (на километр), обусловленное его длиной и коэффициентом затухания (таблица);

- неразъёмные соединения (сварные), или сростки, потери в которых обусловлены их общим числом и потерями в каждом из них, при этом норма потерь на одно сварное соединение – 0,05-0,1 дБ;

- разъёмные соединения (коннекторы, или соединители), потери в которых обусловлены потерями в каждом коннекторе и суммарным числом коннекторов, при этом норма потерь на одно разъёмное соединение – 0,2-0,3 дБ;

- разветвители (сплиттера), являющиеся источником основных потерь, т.к. входная мощность равномерно разделяется между несколькими выходными портами. Потери разветвителя зависят от коэффициента разветвления (количества выходных портов) и для сплиттера 1:2 составляют примерно 3 дБ, увеличиваясь по 3 дБ на каждом удвоении количества выходных портов. Эти потери применяются к обоим направлениям сигналов. Выбор сплиттеров 1×4 и 1×8, описанный в разделе 2, позволяет построить сбалансированную сеть, то есть сеть, в которой на OLT от ONT приходят не отличающиеся по уровню сигналы (если сигналы существенно отличаются по уровню, то система не может обрабатывать их из-за больших перепадов, возрастания степени ошибок при приёме потока);

- эксплуатационный запас, учитывающий в случае повреждений в линии, осложнений условий передачи и при последующем развитии сети (технологический запас в виде дополнительных сростков и вставок при организации ремонта ОК, запас на естественное старение оптоволокна), составляющий 2...4 дБ, максимум 6 дБ, – рекомендуемое значение 3 дБ.

Сумма всех потерь участка сети GPON по сути является энергетическим бюджетом затухания (рисунок 4.1).

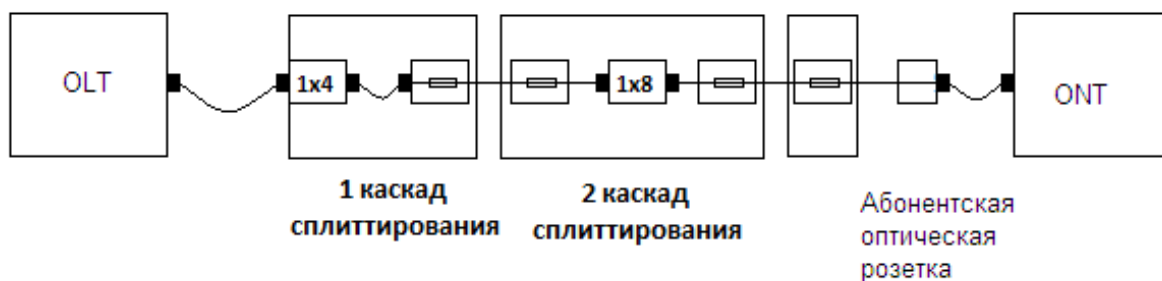


Рисунок 4.1 – Энергетический бюджет затухания

Мощность на входе ONT будет различна, так как абоненты, как правило, расположены на различных расстояниях от главной станции, таким

образом, на мощность влияет протяжённость магистрального кабеля до района-кластера, а также источники потерь.

Рассчитаем энергетический бюджет затухания для OLT, наиболее удаленного от OLT на АТС-34: 3-й дом микрорайона «Жансая» г.Тараз. Расчёт производится для наглядного представления работы проектируемой сети. Рисунок 4.2 иллюстрирует участок сети GPON с источниками потерь.

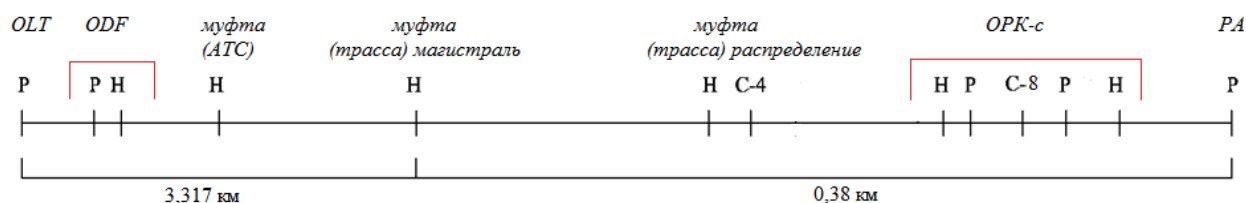


Рисунок 4.2 – Участок сети GPON от OLT на АТС-34 до дома №3 микрорайона «Жансая»)

Исходные данные:

- протяженность ВОЛС для дерева длиной: $L_i = 3,697$ км;
- километрическое затухание в оптоволокне: $\alpha = 0,35$ дБ/км;
- количество оптических сплиттеров: $N_{1/4} = 1$, $N_{1/8} = 1$;
- количество разъёмных соединений: $N_p = 5$;
- количество неразъёмных, или сварных соединений: $N_c = 6$;
- эксплуатационный запас: $A_{э.з.} = 3$ дБ;
- рабочая длина волны $\lambda = 1310$ нм.

В таблице 4.1 приведены усреднённые величины потерь, вносимых оптическими компонентами GPON деревьев.

Т а б л и ц а 4 . 1 - Величины потерь для компонентов PON дерева

Параметр	Затухание, дБ
Потери в соединениях оптоволокну	0,2
Потери в оптоволокне (1310 нм), на км	0,4
Потери в оптоволокне (1490/1550 нм), на км	0,3
Потери на коннекторах A_p	0,3
Потери на сращениях A_c	0,05
Затухание в 1:2 сплиттере ($A_{1/2}$)	3
Затухание в 1:4 сплиттере ($A_{1/4}$)	7,2
Затухание в 1:8 сплиттере ($A_{1/8}$)	10,7
Затухание в 1:16 сплиттере ($A_{1/16}$)	14,4
Затухание в 1:32 сплиттере ($A_{1/32}$)	15,0

В таблице 4.2 приведены значения коэффициента затухания для различных типов оптического кабеля.

Т а б л и ц а 4.2 - Коэффициент затухания оптического кабеля на длине ВОЛНЫ

Оптический кабель	Длина волны, нм	Коэффициент затухания, дБ/км
G.652D	1310	<0,35
	1550	<0,27
G.657A1	1310	<0,35
	1550	<0,20

Рассчитаем оптический бюджет затухания В (оптические затраты) по формуле 4.33

$$B = A_{\Sigma} = L_i \cdot \alpha_k + N_p \cdot A_p + N_c \cdot A_c + A_{раз} + A_{э.з.} \quad (4.33)$$

где A_{Σ} – суммарные потери в линии (между OLT и ONT), дБ;
 L_i – длина i-участка, км;
 α_k – коэффициент затухания ОК, дБ/км;
 N_p – число разъёмных соединений;
 N_c – число сварных соединений;
 A_p – затухание в разъёмном соединении, дБ;
 A_c – затухание в сварном соединении, дБ;
 $A_{раз}$ – потери в сплиттерах, дБ.

$$A_{раз} = A_{1/4} \cdot N_{1/4} + A_{1/8} \cdot N_{1/8} \quad (4.34)$$

$A_{э.з.}$ – эксплуатационный запас, дБ.

Рассчитаем оптический бюджет линии для схемы организации сети абонентского доступа, приведенной на рисунке 4.2:

$$B = A_{\Sigma} = 3,697 \cdot 0,35 + 5 \cdot 0,3 + 6 \cdot 0,05 + 7,2 \cdot 1 + 10,7 \cdot 1 + 3 = 23,99395 \approx 24 \text{ (дБ)}$$

Бюджет потерь для GPON базируется на рекомендации ITU G.983.4, где определён диапазон ослабления оптического сигнала:

- класс А: 5 дБ – 20 дБ;
- класс В: 10 дБ – 25 дБ;
- класс С: 15 дБ – 30 дБ;

Таким образом, данная сеть GPON относится к классу В.

Ослабление мощности сигнала в элементах отдельного канала OLT-ONT_i (i=1...N, где N – число абонентских окончаний) показано на рисунке 4.3.



Рисунок 4.3 – Ослабление мощности сигнала

Допустимые оптические потери от оптического передатчика до приёмника не должны превысить оптический бюджет мощности. Оптический бюджет, дБ, приёмопередающего оборудования определяется как интервал $[OB_{min}, OB_{max}]$ по формулам 4.35 и 4.36, где

$$OB_{min} = P_{out_{min}} - P_{in_{min}} \quad (4.35)$$

$$OB_{max} = P_{out_{max}} - P_{in_{max}} \quad (4.36)$$

где $P_{out_{min}}, P_{out_{max}}$ – допустимый разброс мощностей передатчиков;
 $P_{in_{min}}, P_{in_{max}}$ – допустимый уровень принимаемого сигнала на приёмниках.

Расчёт оптических затрат должен доказать утверждение, что волоконно-оптический канал GPON удовлетворяет заданному бюджету, если потери с учётом допустимых искажений сигналов, попадают в интервал $[OB_{min}, OB_{max}]$ – динамический диапазон GPON (энергетический потенциал системы):

$$P = P_{вых.min} - P_{вх} \geq A_{\Sigma} \quad (4.37)$$

где P – динамический диапазон GPON, дБ;

$P_{вых.min}$ – минимальная выходная мощность передатчика OLT, дБ,

$P_{вх}$ – мощность на входе приёмника ONT, дБ;

A_{Σ} – оптические потери, дБ.

Проверим данное условие. Для downstream направления (OLT > ONT),

выходная мощность OLT составляет +2 дБ и чувствительность ONT – 28 дБ, для upstream направления (ONT > OLT), выходная мощность ONT составляет +0,5 дБ и чувствительность OLT – 30 дБ (приложения И, К). Зная эти значения, вычислим оптический бюджет мощности для downstream потока:

$$P = +2 - (-28) = 30 \text{ (дБ)} \geq 24 \text{ (дБ)}$$

Для upstream потока:

$$P = +0,5 - (-30) = 30,5 \text{ (дБ)} \geq 24 \text{ (дБ)}$$

Поскольку upstream и downstream потоки передаются в одном оптоволокне, допустимая величина бюджета составит менее 30 дБ. Условие выполняется.

4.3 Расчёт участка регенерации

Основной параметр GPON - длина регенерационного (рабочего) участка: это максимальное расстояние между приёмным и передающим оборудованием, при котором предоставляется необходимое качество передачи (коэффициент ошибок, отношение сигнал/шум).

Найдём максимально допустимую длину рабочего участка применительно к данной системе передачи и выбранному типу ОК и решим, существует ли потребность в использовании регенерационных устройств.

Расчёт длины регенерационного участка, ограниченной затуханием, производится по формуле (4.38):

$$L_p = \frac{\mathcal{E} - A_{\text{э.з.}} - A_a}{\alpha_k + \frac{\alpha_c}{l_{\text{с.д}}}} \text{ (км)} \quad (4.38)$$

где \mathcal{E} – энергетический потенциал системы 30 дБ;

$A_{\text{э.з.}}$ – эксплуатационный запас, 3 дБ;

A_a – дополнительные потери на вводах/выводах элементов GPON, 5 дБ;

α_k – коэффициент затухания ОК, 0,35 дБ/км;

α_c – затухание на стыке световод – световод, 0,3 дБ;

$l_{\text{с.д}}$ – строительная длина ОК, 3,697 км.

$$L_p = \frac{30 - 3 - 5}{0,35 + \frac{0,3}{3,697}} = \frac{22}{0,431146875} = 51,0267 \approx 51 \text{ (км)}$$

Вычислим длину участка регенерации, лимитированного дисперсионной характеристикой световода (4.39):

$$\frac{\Delta F}{\Delta F_x} = \sqrt{\frac{L_x}{L}}, \quad (4.39)$$

где ΔF – ширина полосы пропускания 1 км световода;
 ΔF_x – ширина полосы пропускания в конце участка регенерации,
 L – строительная длина, (3,697 км);
 L_x – длина регенерационного участка.

Выразим из формулы (4.39) величину L_x :

$$L_p = L_x = \frac{\Delta F^2}{\Delta F_x^2} \times L_{стр}, \quad (4.40)$$

$$L_p = L_x = \left(\frac{3333 \times 10^9}{1005 \times 10^9} \right)^2 \times 3,697 = 41(\text{км})$$

Сравним длины участков регенерации, лимитированных затуханием и дисперсией, выберем наименьшую величину: $L_p = 41$ км. Она составляет менее 100 км, следовательно, отсутствует необходимость в применении регенерационных устройств.

4.4 Оценка надёжности оптического кабеля

Сеть GPON фактически представляет собой сложную систему, складывающуюся из разнообразных элементов, относящихся или к линейным, или к станционным сооружениям, при работе которых существует вероятность возникновения отказов, способных привести к полному либо частичному отказу всей системы. Первостепенная задача при проектировании GPON – обеспечить надёжность ВОСП, что значит разработать методику оценки, расчёта, контроля параметров и технического обслуживания. Для оценки надёжности ВОСП GPON найдём значения качественных показателей, сравним их с допустимыми величинами.

Временем безотказной работы, или интервалом времени между моментом включения и появлением первого отказа (временем между отказами), называют случайную величину, интегральная функция распределения которой $q(t)$ представляет собой вероятность отказа в интервале времени $0 \dots t$. Противоположным событием является безотказная работа, вероятность которой на этом промежутке вычисляется с помощью формулы:

$$p(t) = 1 - q(t) \quad (4.41)$$

Интенсивностью отказов $\lambda(t)$ называют усреднённое количество отказов (плотность вероятности отказов) в момент времени t , до которого отказы не наблюдались. Функции $\lambda(t)$ и $p(t)$ связаны между собой соотношением:

$$p(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau} \quad (4.42)$$

Интенсивность отказов является почти постоянной ($\lambda(t) \approx \lambda$) для периода нормальной эксплуатации, то есть до наступления физического износа. В таком случае вероятность безотказной работы уменьшается экспоненциально с течением времени:

$$p(t) = e^{-\lambda t} \quad (4.43)$$

Для определения интенсивности отказов тракта используется формула (4.44):

$$\eta_{\text{сист}} = \lambda_{\text{орп}} \cdot q_{\text{орп}} + \lambda_{\text{нрп}} \cdot q_{\text{нрп}} + \lambda_{\text{каб}} \cdot L \quad (4.44)$$

где $\lambda_{\text{орп}}$ – интенсивность отказов обслуживаемых регенерационных пунктов (ОРП), $\lambda_{\text{орп}} = 10^{-7} \left(\frac{1}{\text{ч}}\right)$;;

$q_{\text{орп}}$ – количество ОРП;

$\lambda_{\text{нрп}}$ – интенсивность отказов необслуживаемых регенерационных пунктов (НРП), $\lambda_{\text{нрп}} = 3 \cdot 10^{-8} \left(\frac{1}{\text{ч}}\right)$;

$q_{\text{нрп}}$ – количество НРП;

$\lambda_{\text{каб}}$ – интенсивность отказов 1 км кабеля, $\lambda_{\text{каб}} = 5 \cdot 10^{-8} \left(\frac{1}{\text{ч}}\right)$;

L – длина магистрали, км.

Учитывая отсутствие необходимости в установке НРП ввиду оптимального расстояния между ОРП, упростим формулу (4.44):

$$\eta_{\text{сист}} = \lambda_{\text{орп}} \cdot q_{\text{орп}} + \lambda_{\text{каб}} \cdot L \quad (4.45)$$

Для магистрали GPON длиной $L=20$ (км), на которой имеется 2 мультиплексора ввода-вывода и не нашли применения регенерационные устройства:

$$\eta_{\text{сист}} = 10^{-7} \cdot 2 + 5 \cdot 10^{-8} \cdot 20 = 0,2 \cdot 10^{-6} + 10^{-6} = 1,2 \cdot 10^{-6} \left(\frac{1}{\text{ч}}\right);$$

Математическое ожидание случайной величины времени безотказной работы, выраженном в часах:

$$t_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} t \left[\frac{dqt}{dt} \right] dt = \lambda \int_0^{\infty} t \cdot e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (4.46)$$

Для магистрали GPON, относящейся к перспективной цифровой местной первичной сети длиной менее 200 км, являющейся подземной кабельной линией, $t_{\text{ср}}$ должно составлять более 20 лет, с учётом резервирования системы:

$$t_{\text{ср.сист}} = \frac{1}{\eta_{\text{сист}}} = \frac{1}{1,2 \cdot 10^{-6}} = 0,83 \cdot 10^6 \text{ (ч)} \approx 95 \text{ (лет)} > 20 \text{ (лет)} \quad (4.47)$$

Средним временем перерыва связи (средним временем восстановления связи) является величина $t_{\text{в}}$, выраженная в часах, находящаяся по формуле:

$$t_{\text{в}} = \frac{\lambda_{\text{каб}} \cdot L \cdot t_{\text{в.каб}} + \lambda_{\text{нрп}} \cdot q_{\text{нрп}} \cdot t_{\text{в.нрп}} + \lambda_{\text{орп}} \cdot q_{\text{орп}} \cdot t_{\text{в.орп}}}{\eta_{\text{сист}}} \quad (4.48)$$

где $t_{\text{в.орп}}$ – время восстановления ОРП, $t_{\text{в.орп}} = 0,5 \text{ (ч)}$;

$t_{\text{в.нрп}}$ – время восстановления НРП, включая время подъезда персонала к месту аварии, не более 2 часов, $t_{\text{в.нрп}} = 2 \text{ (ч)} \leq 2,5 \text{ (ч)}$

$t_{\text{в.каб}}$ – время восстановления кабеля, включая время подъезда, равное 3,5 часа, $t_{\text{в.каб}} = 5 \text{ (ч)} \leq 10 \text{ (ч)}$.

Ввиду отсутствия НРП, упростим формулу (4.48):

$$t_{\text{в}} = \frac{\lambda_{\text{каб}} \cdot L \cdot t_{\text{в.каб}} + \lambda_{\text{орп}} \cdot q_{\text{орп}} \cdot t_{\text{в.орп}}}{\eta_{\text{сист}}} \quad (4.49)$$

Рассчитаем среднее время восстановления магистрали GPON. Для перспективной цифровой местной первичной сети длиной менее 200 км оно должно составлять не более 4,24 ч:

$$t_{\text{в.маг}} = 8,3 \cdot 10^5 \cdot (5 \cdot 10^{-8} \cdot 20 \cdot 4,75 + 2 \cdot 10^{-7} \cdot 0,5) = 4,03 \text{ (ч)} < 4,24 \text{ (ч)}$$

Интенсивность восстановления магистрали:

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{в.маг}}} = \frac{1}{4,03} = 0,25 \text{ (1/ч)} \quad (4.50)$$

Магистраль GPON состоит из большого количества n различных компонентов, отказы которых совершаются независимо, и представляет собой сложную систему, вероятность безотказной работы которой представляет собой произведение вероятностей безотказной работы всех компонентов на промежутке времени $0 \dots t$ $p_1(t), p_2(t), \dots, p_n(t)$:

$$P_{\text{сист}} = e^{-\eta_{\text{сист}} \cdot t} \quad (4.51)$$

где t - время безотказной работы.

Для GPON она равна:

за сутки ($t_1 = 24$ ч)

$$P_{\text{сист}}(t) = e^{-1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 24} = e^{-28,8 \cdot 10^{-6}} = e^{-0,0000288} = 0,999971$$

за месяц ($t_2 = 720$ ч)

$$P_{\text{сист}}(t) = e^{-1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 720} = e^{-864 \cdot 10^{-6}} = e^{-0,000864} = 0,99913637$$

за год ($t_3 = 8760$ ч)

$$P_{\text{сист}}(t) = e^{-1,2 \cdot 10^{-6} \cdot 8760} = e^{-10512 \cdot 10^{-6}} = e^{-0,010512} = 0,98954306$$

Для определения вероятности безотказной работы воспользуемся программным продуктом Excel (рисунок 4.4).

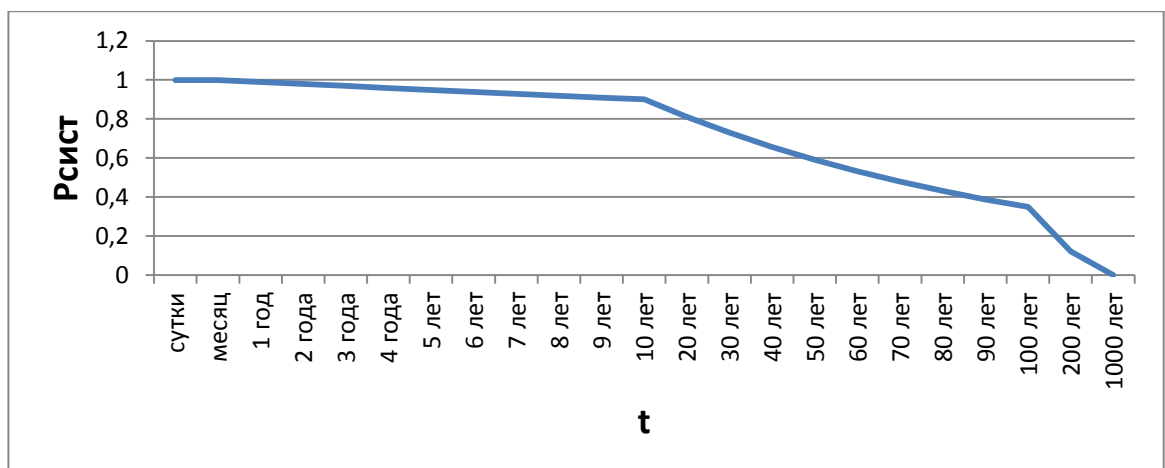


Рисунок 4.4 - График, позволяющий визуально проследить изменение $P_{\text{сист}}$ за некоторый промежуток времени наблюдения

Для определения коэффициента готовности (вероятности работоспособности, другими словами, безотказной работы линии в любой произвольно избранный момент времени) используется формула (4.52):

$$K_{\Gamma} = \frac{t_{\text{ср.сист}}}{t_{\text{ср.сист}} + t_{\text{в}}} \quad (4.52)$$

Для магистрали GPON:

$$K_{\Gamma.\text{маг}} = \frac{t_{\text{ср.маг}}}{t_{\text{ср.маг}} + t_{\text{в.маг}}} = \frac{0,83 \cdot 10^6}{0,83 \cdot 10^6 + 4,034} = 0,99999515 \geq 0,9994$$

Коэффициентом простоя называют вероятность неработоспособности системы в произвольно избранный момент времени:

$$K_{\Pi} = 1 - K_{\Gamma} = \eta_{\text{сист}} \cdot t_{\text{в}} \cdot (1 + \eta_{\text{сист}} \cdot t_{\text{в}}) = \frac{t_{\text{в}}}{(t_{\text{ср.сист}} + t_{\text{в}})} \quad (4.53)$$

Коэффициент простоя магистрали GPON:

$$K_{\Pi.\text{маг}} = 1 - K_{\Gamma.\text{маг}} = 1 - 0,99999515 = 0,00000485$$

4.5 Расчёт полосы пропускания, требуемой для предоставления услуг Triple Play

При предоставлении сервисов Triple Play (голосовые услуги, видеослужбы и услуги Интернет-доступа) учитывают полосу пропускания последней мили, требования к которой описываются таблицей 4.3. Проект предусматривает построение сети GPON, рассчитанной как на абонентов Triple play, так и на простых пользователей доступа в интернет, поэтому условно выделим две категории абонентов: пользователи TRIPLE PLAY и абоненты INTERNET.

Т а б л и ц а 4 . 3 - Требования к полосе пропускания «последней мили» для реализации услуг Triple Play

Приложение	Требуемая скорость передачи данных в направлении от пользователя (Upstream)	Требуемая скорость передачи данных по направлению к пользователю (Downstream)
Услуги, использующие в качестве терминала телевизионный приемник		
Вещательное Телевидение, Vod: - SDTV (MPEG2) - SDTV (MPEG4) - HDTV (MPEG2) - HDTV (MPEG4)	- - - -	4 Мбит/с 2 Мбит/с 18 Мбит/с 8 Мбит/с
Функция "Картинка в картинке", PIP (SDTV/MPEG2)	-	7,5 Мбит/с
Услуга электронного телевизионного гида, EPG	-	< 0,5 Мбит/с
Услуга персонального видеомэгнитофона, PVR (SDTV/MPEG2)	-	3,75 Мбит/с
Услуги интерактивного телевидения: Возможности ТВ-телефонии - ТВ-браузер - ТВ-чат - Уведомления на экране	< 64 Кбит/с - 128-640 Кбит/с -	< 64 Кбит/с < 3 Мбит/с < 3 Мбит/с < 64 Кбит/с
Услуги, использующие в качестве терминала ПК или телефон		
Высокоскоростной доступ в сеть интернет (WWW, FTP, VPN, IM, чат и пр.): - Домашний сектор - Корпоративный сектор	< 3 Мбит/с < 6 Мбит/с 64-750 Кбит/с	< 3 Мбит/с < 6 Мбит/с 64-750 Кбит/с
IP-телефония (видеотелефония)	300-750 Кбит/с	300-750 Кбит/с
Видеоконференция	300-750 Кбит/с	300-750 Кбит/с
Интерактивные игры	10-750 Кбит/с	10-750 Кбит/с
Удаленное обучение	-	300-750 Кбит/с
Телевидение на ПК	-	300-750 Кбит/с

Сказанное позволяет принять для текущего проекта нижеследующую

модель распределения трафика на одного пользователя.

Для абонента, подающего заявку на полный пакет услуг – абонента I категории, или Triple Play, модель в режиме unicast, предусматривающем отдельный поток информации на каждого абонента, имеет вид:

- Высокоскоростной доступ к глобальной сети интернет:

$$v_{VoIP} = 1 \cdot 2 \left(\frac{\text{Мбит}}{c} \right) = 2 \left(\frac{\text{Мбит}}{c} \right);$$

- VoIP (1 линия):

$$v_{VoIP} = 1 \cdot 0,0625 \left(\frac{\text{Мбит}}{c} \right) = 0,0625 \left(\frac{\text{Мбит}}{c} \right);$$

- Сервис VoD (TV on Demand, или Time Shifted TV):

$$v_{VoD} = 1 \cdot 4 \left(\frac{\text{Мбит}}{c} \right) = 4 \left(\frac{\text{Мбит}}{c} \right).$$

Итого, для этого пакета услуг предположительно требуется пропускная способность, приблизительно равная 6,0625 Мбит/с в расчёте на одного пользователя.

Модель в режиме multicast, предусматривающем отправку на групповой адрес медиапотока, то есть к абонентам одной группы, подключённым к сети в настоящее время (при этом не происходит дублирования потока на участках сети), описывается следующим образом. Данный проект подразумевает вещание в сети 40 каналов IPTV (SDTV формата MPEG-2).

- Канал IPTV:

$$v_{IPTV} = 1 \cdot 4 \left(\frac{\text{Мбит}}{c} \right) = 4 \left(\frac{\text{Мбит}}{c} \right);$$

- 40 каналам потребуется выделенная полоса пропускания, она составит:

$$v_{IPTV_40} = 40 \cdot 4 \left(\frac{\text{Мбит}}{c} \right) = 160 \left(\frac{\text{Мбит}}{c} \right).$$

Абоненту, заказывающему неполный пакет услуг – абоненту II категории (пользователю Internet), потребуется полоса пропускания:

$$v_{Int} = 4 \left(\frac{\text{Мбит}}{c} \right).$$

Вычислим требующуюся для ветки GPON (для одного порта OLT) полосу

пропускания. Число пользователей Triple Play для одного порта равно 16 человек, а численность обычных абонентов Internet составила 48 человек. В итоге полоса пропускания, выделенная для клиентов и той, и другой категории составит:

– Для пользователей Triple Play:

$$v_I = 16 \cdot 6,0625 + 160 = 257 \text{ (Мбит/с)}$$

– Для абонентов Internet:

$$v_{II} = 48 \cdot 4 = 192 \text{ (Мбит/с)}.$$

Таким образом, для одного порта OLT итоговая полоса пропускания равняется:

$$v_{\Sigma} = v_I + v_{II} = 257 + 192 = 449 \text{ (Мбит/с)}.$$

Результаты расчёта, подтверждённые программой, описанной в разделе 4.7, показывают, что описанный в разделе 3 OLT, эксплуатирующий канал приблизительно в 1,25 Гбит/с, подходит под предъявляемые к полосе пропускания требования.

4.6 Определение реальной нагрузки, исходящей от абонентов сети доступа GPON в ЧНН

Абоненты одного порта OLT создают реальную нагрузку, которая рассчитывается с учётом деления абонентов на две категории:

- 1) Категория I – пользователи Triple Play – 16 человек (25% от общего количества всех абонентов на порте);
- 2) Категория II – абоненты Internet – 48 человек (75% от общего количества).

Рассчитаем количество IP-пакетов, создаваемых каждой категорией в час пик, или час наибольшей нагрузки (ЧНН), зная, что один порт OLT обслуживает $M_{общ} = 64$ абонента. Пусть доля абонентов I группы от общего количества, пользующихся полным набором сервисов, составляет $\pi_1 \approx 25\% \approx 0,25$. Тогда доля абонентов II группы от общего количества, пользующихся исключительно сервисами передачи данных, равна $\pi_2 \approx 75\% \approx 0,75$. В сети GPON используется транспортный протокол GEM, передающий данные Ethernet, TDM, ATM, POTS. От абонентов приходят сигналы, имеющие вид потоков, скорость которых постоянна, IP/PPP либо Ethernet пакетов (таких, как IP/PPP или Ethernet) и т.д. Наиболее распространённый тип данных – Ethernet пакеты. Для расчёта количества пакетов, генерируемых абонентами

VoIP, нужно задаться типом кодека (таблица 4.4).

Т а б л и ц а 4 . 4 - Параметры аудиокодеков

Кодек	Скорость передачи, кбит/с	Длительность датаграммы, мс	Задержка пакетизации, мс	Полоса пропускания для двунаправленного соединения, кГц	Задержка в джиттер-буфере	Теоретическая максимальная оценка MOS
G.711u	64	20	1	174,4	2 датаграммы,	4,4
					40 мс	
G.711a	64	20	1	174,4	2 датаграммы,	4,4
					40 мс	
G.726-32	32	20	1	110,4	2 датаграммы,	4,22
					40 мс	
G.729	8	20	25	62,4	2 датаграммы,	4,07
					40 мс	
					60 мс	
G.723m	6,3	30	67,5	43,73	2 датаграммы	3,87
					60 мс	
G.723a	5,3	30	67,5	41,6	2 датаграммы	3,69
					60 мс	

Самое лучшее качество речи гарантируется кодеком G.711. Длительность речевой выборки (дейтаграммы) $T_{PDU} = 20$ мс. В секунду передаётся пакетов n_{VoIP} :

$$n_{VoIP} = \frac{1}{T_{PDU}} = \frac{1}{0,02} = 50 \text{ (пакет/с)} \quad (4.57)$$

Для VoIP пакетизированные данные имеют размер:

$$h = T_{PDU} \cdot v \quad (4.58)$$

где h – размер данных;

T_{PDU} – длительность дейтаграммы;

v – скорость кодирования, для кодека G.711

$$v = \frac{64000}{8} = 8000 \left(\frac{\text{байт}}{\text{с}} \right).$$

$$h = 0,02 \cdot 8000 = 160 \text{ (байт)}$$

Определение размера пакета включает в себя и учёт заголовков IP, RTP, UDP, размер которых составляет 20 байт, 12 байт, 8 байт, соответственно:

$$h_{\Sigma VoIP} = 160 + 20 + 12 + 8 = 200 \text{ (байт)}$$

Предположим, пользователи VoIP совершают приблизительно $f_{VoIP} = 5$ вызовов в час длительностью $t_{VoIP} = 2$ минуты. Рассчитаем количество пакетов, исходящих от абонентов IP-телефонии:

$$N_{VoIP} = n_{VoIP} \cdot t_{VoIP} \cdot f_{VoIP} \cdot \pi_1 \cdot M_{\text{общ}} \quad (4.59)$$

где N_{VoIP} – количество пакетов, переданное пользователями VoIP в ЧНН;
 n_{VoIP} – количество пакетов, переданное в секунду одним пользователем,

t_{VoIP} – средняя длительность разговора для пользователей VoIP (сек);

f_{VoIP} – количество вызовов в ЧНН для пользователей VoIP;

π_1 – доля абонентов группы I;

$M_{\text{общ}}$ – суммарное число абонентов.

Расчёт количества пакетов, переданных I и II группами абонентов, предполагает одинаковый размер пакетов (полезную нагрузку) для передачи данных и трафика: $h = 160$ байт. Передача данных подразумевает использование протоколов TCP и IP, тогда пакет при передаче данных имеет размер:

$$h_{\Sigma Int} = 160 + 20 + 20 = 200 \text{ (байт)}$$

Итак, $h_{\Sigma VoIP} = h_{\Sigma Int}$.

Расчёт трафика ПД предполагает, что абоненты Интернет-доступа I, II групп активно эксплуатируют FTP, файлообменные сети. Предположим, абоненты потребляют около $V = 100$ (Мбайт) = 800 (Мбит) трафика в ЧНН. Количество пакетов, переданных абонентами I и II группы в ЧНН:

$$N_{Int I} = \pi_1 \cdot M_{\text{общ}} \cdot \frac{V}{h} \quad (4.60)$$

$$N_{Int II} = \pi_2 \cdot M_{\text{общ}} \cdot \frac{V}{h} \quad (4.61)$$

где $N_{Int I}$, $N_{Int II}$ – переданных пользователями Интернет-доступа, для I и II групп;

h – размер поля данных пакета, за исключением заголовков;

$M_{\text{общ}}$ – общее количество абонентов.

При расчёте количества пакетов, переданных абонентами видео-сервисов (IPTV, VoD), принимается во внимание тот факт, что размер пакета не превышает 200 байт с учётом накладных расходов.

Для вещания каналов SDTV организуется режим мультивещания (multicast), при котором в сети каждому абоненту не выделяется индивидуальная полоса пропускания, и до OLT доходит некоторое число

каналов, распределяющихся между потребителями данной услуги. Напротив, оказание услуги видео по заказу (VoD) подразумевает использование режима вещания unicast, при котором каждому пользователю выделяется индивидуальная полоса пропускания.

Предположим, абонентам предоставляется услуга вещания

$K_{TV} = 40$ телевизионных каналов.

Скорость передачи, обеспечивающая удовлетворительное качество, составляет $v = 4 \left(\frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \right) = 4000000 \left(\frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \right)$. Время видеопросмотра в ЧНН $t_{TV} = 60$ минут. Пакетный размер $h = 160$ (байт) = (1280 бит). Тогда количество пакетов, исходящих от одного транслируемого канала, равно:

$$n_{TV} = \frac{v}{h} = \frac{4000000}{1280} = 3125 \text{ (пакет/с)} \quad (4.62)$$

При трансляции 40 каналов генерируется:

$$N_{SDTV} = K_{TV} \cdot n_{TV} \cdot t_{TV} \cdot 60 \quad (4.63)$$

где N_{SDTV} – количество пакетов, переданное абонентами IPTV, использующих видеосервисы, в ЧНН;

n_{TV} – количество пакетов, переданное в секунду одним абонентом при просмотре видео MPEG2;

K_{TV} – количество каналов вещания;

t_{TV} – среднее время просмотра каналов в час пик в минутах.

Число пакетов, исходящих от потребителей услуги VoD в ЧНН:

$$N_{VoD} = \pi_1 \cdot M_{\text{общ}} \cdot n_{TV} \cdot t_{TV} \cdot 60 \quad (4.64)$$

Общее количество пакетов, переданных I и II группами абонентов в ЧНН:

$$N_{\Sigma} = N_{VoIP} + N_{\text{Int I}} + N_{\text{Int II}} + N_{SDTV} + N_{VoD} \quad (4.65)$$

Подставив формулы (4.59), (4.60), (4.61), (4.62), (4.62) в формулу (4.63), получим:

$$\begin{aligned} N_{\Sigma} &= n_{VoIP} \cdot t_{VoIP} \cdot f_{VoIP} \cdot \pi_1 \cdot M_{\text{общ}} + \pi_1 \cdot M_{\text{общ}} \cdot \frac{V}{h} + \pi_2 \cdot M_{\text{общ}} \cdot \frac{V}{h} + \\ &+ K_{TV} \cdot n_{TV} \cdot t_{TV} \cdot 60 + \pi_1 \cdot M_{\text{общ}} \cdot n_{TV} \cdot t_{TV} \cdot 60 = \\ &= n_{VoIP} \cdot t_{VoIP} \cdot f_{VoIP} \cdot \pi_1 \cdot M_{\text{общ}} + M_{\text{общ}} \cdot \frac{V}{h} \cdot (\pi_1 + \pi_2) + \\ &+ K_{TV} \cdot n_{TV} \cdot t_{TV} \cdot 60 + \pi_1 \cdot M_{\text{общ}} \cdot n_{TV} \cdot t_{TV} \cdot 60 \end{aligned} \quad (4.66)$$

Учитывая, что $(\pi_1 + \pi_2) = 1$, упростим формулу (4.64):

$$N_{\Sigma} = n_{VoIP} \cdot t_{VoIP} \cdot f_{VoIP} \cdot \pi_1 \cdot M_{\text{общ}} + M_{\text{общ}} \cdot \frac{V}{h} + K_{TV} \cdot n_{TV} \cdot t_{TV} \cdot 60 + \pi_1 \cdot M_{\text{общ}} \cdot n_{TV} \cdot t_{TV} \cdot 60 \quad (4.67)$$

Среднее количество пакетов, передаваемых в секунду, в ЧНН равно:

$$N_{\Sigma \text{сек}} = \frac{N_{\Sigma}}{3600} = \frac{6,64 \cdot 10^8}{3600} \approx 184454 \text{ (пакет/с)} \quad (4.68)$$

Пакетный размер одинаков для любого из сервисов и равняется 1600 бит, тогда:

$$N_{\Sigma \text{сек}} = 184454 \cdot 1600 = 295126414 \left(\frac{\text{бит}}{\text{с}} \right) \text{ или } 295126,414 \left(\frac{\text{Кбит}}{\text{с}} \right) \text{ или } 295,126414 \left(\frac{\text{Мбит}}{\text{с}} \right).$$

Из расчётов следует, что реальная нагрузка, исходящая от абонентов на одном порте OLT (одной ветви сети доступа GPON) в ЧНН равна 295,126414 Мбит/с, или 24%.

4.7 Описание интерфейса программы

По итогам анализа, проведённого в пунктах 4.5, 4.6, на языке объектно-ориентированного программирования Borland Delphi 7.0 была написана программа, позволяющая рассчитать необходимую полосу пропускания и реальную нагрузку, создаваемую абонентами сети доступа GPON в ЧНН. Листинг программы представлен в приложении Р. Для полноценной работы и удобства пользования программа содержит три основные управляющие кнопки:

- «Сброс», для очистки всех полей ввода;
- «Расчёт», для выполнения расчёта;
- «Выход из программы», для выхода из приложения.

Для выполнения расчёта необходимо ввести число пользователей Интернета и число абонентов Triple Play, а также число каналов вещания. Внешний вид программы представлен в приложении П на рисунке П1. После ввода значений программа рассчитывает процентное соотношение абонентов Интернет и Triple Play, ширину полосы пропускания для данных категорий абонентов, суммарную полосу пропускания для одного порта OLT, количество пакетов, генерируемых абонентами IP телефонии, пользователями Интернета, абонентами Triple Play, каналами вещания, пользователями VOD, общее количество пакетов, генерируемых на ветке GPON в ЧНН, реальную нагрузку, создаваемую абонентами одного порта OLT в ЧНН (рисунок П2 приложения 2). Полученные значения совпадают с рассчитанными в пунктах 4.5, 4.6. Программа защищена от ошибочного ввода символов. При неверном вводе

значения (рисунок 4.5) появляется окно, предупреждающее пользователя об ошибке (рисунок 4.6).

Рисунок 4.5 – Неверный ввод данных

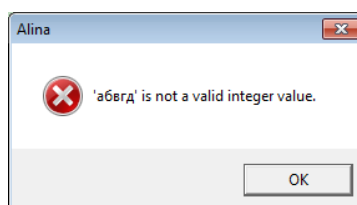


Рисунок 4.6 – Сообщение об ошибке ввода данных

Необходимо отметить, что программа не выполнит расчёт, пока не будут заполнены все поля данных (рисунок 4.7).

Рисунок 4.7 – Вывод сообщения «Заполните пожалуйста все поля»

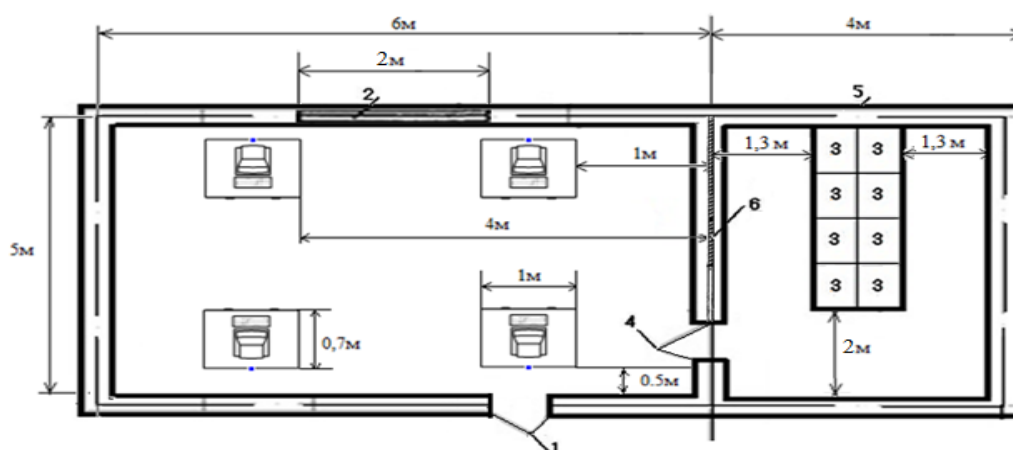
Данные для проверочного расчёта взяты произвольно, учитывая, что на один порт приходится не более 64 абонентов (рисунок 4.8).

Рисунок 4.8– Вывод сообщения «На один порт OLT приходится не более 64 абонентов!!!»

5. Безопасность жизнедеятельности

5.1 Анализ условий труда

В настоящем разделе были проанализированы условия труда на ОПТОКРОССе станции АТС-34 города Тараз – участке по техническому обслуживанию сетей PON. В состав ОПТОКРОССа входят работники, обслуживающие оптические кроссы, занимающиеся переключением ОВ, организующие устранение повреждение линий на сети PON по заявкам ЦБР в контрольные сроки, следящие за функционированием и обновлением сети с помощью программного обеспечения E-OPS, установленного на управляющем сервере на базе станции SUN T5120. АТС-34 представляет собой четырёхэтажное здание, где на третьем этаже находится оптокросс со стационарным оборудованием OLT и зал для инженеров и операторов, управляющих сетью GPON (рисунок 5.1).



1 – дверь; 2 – окно; 3 – оборудование OLT (ОПТОКРОСС); 4 – дверь;
5 – стена; 6 – стеклянная перегородка.

Рисунок 5.1 - Схема расположения оборудования связи и рабочих мест на ОПТОКРОССе

Операторская представляет собой помещение прямоугольной формы длиной 6 метров, шириной 5 метров, высотой 3 метра, рассчитанное на четыре сидячих рабочих места, поскольку его обслуживают четыре сотрудника: ведущий инженер, отвечающий за оборудование и работающий с биллинговыми программами на ПК, один инженер технической поддержки, по совместительству программист, два оператора-электромеханика IV разряда. У ведущего инженера и администратора сети 8-ми часовой рабочий день и 5-ти дневная рабочая неделя. У операторов круглосуточная, сменная работа, со сменой дежурства каждые 2 смены – 8.00-18.00 и 18.00-8.00. В

операторской расположены средства труда – оргтехника: четыре компьютера модели Intel «Офисный» мощностью 0,7 кВт/ч, $\eta = 0,8$ каждый (КПД), один универсальный коммутатор, четыре точки доступа, принтер. Согласно [17] разработано смешанное освещение: естественное (одно окно) и искусственное (люминесцентные лампы и светильники). Согласно [19] электробезопасность ОПТОКРОССа обеспечивают нижеследующие защитные технические средства: заземление, зануление, защитное заземление, защитное зануление, применение малого напряжения 42 В; двойная изоляция токоведущих частей без соприкосновения с рабочими местами, отключение питания автоматически в случае аварий. Согласно [15] прокладка всех видов кабелей производится под полами из негорючих материалов, выбранное оборудование имеет все необходимые сертификаты и обеспечивает пожарную безопасность. Операторская оборудована пожарной сигнализацией и углекислотными огнетушителями. Рассмотрим условия труда рабочего места оператора, являющегося индивидуальным для работы сидя (рисунок 5.2).

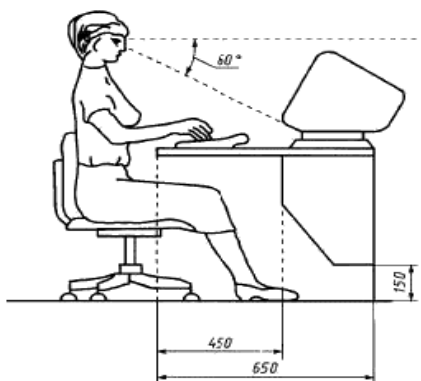


Рисунок 5.2 – Рабочее место оператора.

Согласно [5] работа на ОПТОКРОССе относится к первой категории (легкая физическая), преимущественно к 1а, осуществляется сидя, не нуждается в физическом напряжении, энергозатраты человеческого организма при этом составляют 138 Дж/с (ккал/час). Организация рабочего места осуществляется по современным эргономическим требованиям: площадь помещения не меньше 6 м², высота не меньше 4 м, объём не меньше 20 м³ на человека, высота над уровнем поверхности стола, имеющего оптимальные размеры 1600×1000 мм³, 72 см, глубина пространства для ног под столом 65 см, при этом имеется подставка для ног длиной 40 см, шириной 35 см, расположенная к поверхности стола под углом 15°. Высоту стола регулируют в пределах 68-78 см, а высоту подъёмно-поворотного механизма – кресла глубиной 38 см и шириной 40 см со спинкой высотой 30 см, шириной 38 см, в пределах 40 - 50 см. Между глазами работника и экраном компьютера расстояние 40 – 80 см. Клавиатура удалена от края стола менее чем на 30 см. Данные условия труда предусматривают свободную перемену поз и исключают развитие заболеваний у работников.

5.2 Выработка мероприятий по улучшению трудовых условий

В данном помещении на работников негативное воздействие оказывают повышенные и пониженные значения температуры и влажности воздуха, поэтому существует необходимость в разработке системы, обеспечивающей оптимальные комфортные условия микроклимата воздуха ОПТОКРОССа, т.к. от контроля микроклимата зависит работа как персонала, так и оборудования, производительность труда работников, их заболеваемость и утомляемость. Помещение должно быть светлое, сухое и чистое, полностью соответствовать санитарным нормам. В таблице 5.1 указаны значения микроклиматических параметров, создающих оптимальные трудовые условия в помещениях с компьютерами [18]. Для первой категории работ должны быть учтены данные параметры.

Т а б л и ц а 5 . 1 - Оптимальные микроклиматические параметры

Параметр микроклимата	Период года	
	Холодный	Теплый
Температура воздуха в помещении	22...24 °С	23...25 °С
Относительная влажность	40...60 %	40...60 %
Скорость движения воздуха	до 0,1 м/с	0,1...0,2 м/с

В ОПТОКРОСС объемом 90 м³ на работника приходится 22,5 м³/ч объем воздуха, то есть учитывая максимальное количество работников в смену, на человека предусматривается объем помещения 15 м³. Поступающий воздух необходимо очищать от загрязнений, в том числе от пыли и микроорганизмов. Температура в операторской в летнее время суток составляет 28 °С и в зимнее время суток 16 °С, поэтому для очистки воздуха, поступающего в операторскую от пыли и вредных веществ, требуется разработать систему кондиционирования воздуха операторской, позволяющую улучшить микроклиматические параметры, соответственно, и условия труда, поддерживать автоматически оптимальные микроклиматические параметры 12 месяцев в году. В операторской, относящейся к помещениям с тепловыделениями, расположено оборудование: 4 компьютера мощностью 700 Вт каждый, работают 4 человека. Определим тепловые нагрузки в ОПТОКРОССе [24]:

1) Поступления тепла от оборудования:

$$Q_{об} = P_{об} \cdot \eta = 2,8 \cdot 0,8 = 2,24 \text{ (кВт)} \quad (5.1)$$

где $P_{об}$ – мощность, которую потребляет оборудование (4 компьютера), кВт/ч;

η – коэффициент перехода тепла в операторскую, $\eta = 0,8$.

2) Поступления тепла от ламп:

$$Q_{осв} = \alpha \cdot \beta \cdot N_{осв} \cdot F_n = 0,5 \cdot 1 \cdot 57 \cdot 6 \cdot 5 = 0,855 \text{ (кВт)} \quad (5.2)$$

где $N_{\text{осв}}$ – мощность лампы для оптимального освещения помещений, $N_{\text{осв}} = 57 \text{ Вт/м}^2$;

α – КПД перевода электрической энергии в тепловую, $\alpha = 0,5 \div 0,6$;

β – КПД одновременности работы оборудования ($\beta = 1$), что означает, что вся аппаратура работает;

F_n – площадь пола длиной 6 м, шириной 5 м.

3) Теплопоступления от людей:

$$Q_{\text{л}} = n \cdot q_{\text{явн}} \quad (5.3)$$

где $q_{\text{явн}}$ – явное тепло от человека, женщина выделяет 85 % тепла от нормы тепловыделений мужчины (для тёплого периода 63 Вт, для холодного – 92 Вт).

n – количество людей (мужчин – 3; женщин – 1).

На летний период: $Q_{\text{л}} = (3 \cdot 63 + 1 \cdot 63 \cdot 0,85)/1000 = 0,24255 \text{ (кВт)}$

На зимний период: $Q_{\text{л}} = (3 \cdot 92 + 1 \cdot 92 \cdot 0,85)/1000 = 0,3542 \text{ (кВт)}$

4) Поступления тепла от излучения Солнца сквозь стёкла:

$$Q_p = m \cdot F \cdot (q^I + q^{II}) \cdot \beta \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (5.4)$$

где m – число окон в операторской, 3;

F – площадь окна, $1,5 \text{ м}^2$;

q^I, q^{II} – потоки тепла от радиации прямой и рассеянной Вт/м^2 , в зависимости от географической широты равны соответственно для ЮЗ – 305 и 86, для ЮВ – 0 и 67);

β – коэффициент теплопропускания, 1;

K_1 – коэффициент затемнения стёкол переплётами, 0,72;

K_2 – коэффициент загрязнения стёкол, 0,9.

$$Q_p = 1 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 0,72 \cdot 0,9 \cdot \frac{((305 + 86) + (0 + 67))}{1000} = 0,445176 \text{ (кВт)}$$

5) Поступления и потери тепла от разности температур:

$$Q_{\text{отд}} = V_{\text{пом}} \cdot X_0 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}) = 6 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 0,42 \cdot \frac{(16 - 30)}{1000} = 1,7388 \text{ (кВт)} \quad (5.5)$$

где $t_{\text{в}}$ – температура внутреннего помещения, $16 \text{ } ^\circ\text{C}$;

$t_{\text{н}}$ – наружная температура воздуха, $(-30) \text{ } ^\circ\text{C}$;

$V_{\text{пом}}$ – объём помещения, м^3 длиной 6 м, шириной 5 м, высотой 3 м;

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

$Q_{\text{отд}} = 0$ – для теплого периода времени.

6) Тепловой баланс в ОПТОКРОССе:

$$Q_{изб} = Q_{об} + Q_{осв} + Q_{л} + Q_{р} - Q_{отд} \quad (5.6)$$

Летом: $Q_{изб} = 2,24 + 0,855 + 0,24255 + 0,445176 - 0 = 3,782726$ (кВт)
 Зимой: $Q_{изб} = 2,24 + 0,855 + 0,3542 + 0,445176 - 1,7388 = 2,156$ (кВт)

7) Теплонапряжённость воздуха:

$$Q_H = \frac{Q_{изб} \cdot 860}{V_{пом}} \quad (5.7)$$

$Q_H \leq 20$ ккал/м³ $\Rightarrow \Delta t = 6$ °С;
 $Q_{изб} \geq 20$ ккал/м³ $\Rightarrow \Delta t = 8$ °С.

Т.к. $Q_{изб.лет} > Q_{изб.зим}$, то используется $Q_{изб}$ для летнего периода:

$$Q_H = \frac{3,782726 \cdot 860}{90} = 36,15 \left(\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3} \right)$$

Так как $Q_H = 36,15 \geq 20$ ккал/м³ $\Rightarrow \Delta t = 8$ °С.

8) Количество тепла для поступления/удаления воздуха в/из помещения:

$$L = \frac{(Q_{изб} \cdot 860)}{c \cdot \Delta t \cdot \gamma} = \frac{(3,782726 \cdot 860)}{0,24 \cdot 8 \cdot 1,206} = 1404,5 \left(\frac{\text{м}^3}{\text{ч}} \right) \quad (5.8)$$

где c – теплоёмкость воздуха, 0,24 ккал/кг°С;

Δt – выбирается в зависимости от теплонапряжённости воздуха Q_H ;

γ – удельная масса приточного воздуха, 1,206 кг/м³.

9) Кратность воздухообмена:

$$n = \frac{L}{V_{пом}} = \frac{1404,5}{90} = 15,6 \left(\frac{1}{\text{ч}} \right) \quad (5.9)$$

По рассчитанному значению расхода воздуха выбираем один настенный кондиционер фирмы Ballu BSLI-12H N1 (инверторная сплит-система серии «DC inverter») [25], обеспечивающий поддержку с высокой точностью заданной температуры, создающий оптимальный микроклимат возле каждого работника, работающий на обогрев, охлаждение, зимой способный работать при температуре -15 °С), сверхэкономичный (на 10-15 % экономичнее остальных кондиционеров), бесшумный, с долгим сроком службы, защищённый от перепадов сетевого напряжения, обслуживающий площадь 35 м², потребляющий мощность до 0,99 кВт при охлаждении и 0,92 кВт при обогреве, относящийся к А классу энергоэффективности. Расход воздуха кондиционера 1700 м³/ч, что обеспечивает требуемый для операторской расход воздуха 1404,5 м³/ч. Схема расположения кондиционера изображена на рисунке 5.3.

Суммарная масса выбросов для вредных веществ:

$$M_{\Sigma} = M_{SO_2} + \frac{ПДК_{SO_2}}{ПДК_{NOx}} \cdot M_{NOx} = 21 + \frac{0,5}{0,085} \cdot 1,12 = 27,58823529 \text{ (г/с)} \quad (5.11)$$

где F – коэффициент, принимающий во внимание скорость оседания веществ. $F = 1$ для газов и сажи;

η – коэффициент рельефа территории; $\eta=1$ для равнины;

H – высота источника, м;

V_1 – расход газовойздушной смеси, м³/с:

$$V_1 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot W_0 = \frac{\pi \cdot 0,6^2}{4} \cdot 2 = 0,5652 \text{ (м}^3\text{/с)}; \quad (5.12)$$

$$\Delta T = T_{\Gamma} - T_{\text{Б}} = 100 - 23 = 77 \text{ }^{\circ}\text{C}. \quad (5.13)$$

Величины коэффициентов m и n вычисляются исходя из параметров f , v_m , v'_m , f_e :

$$f = 1000 \cdot \frac{W_0^2 \cdot D}{H^2 \cdot \Delta T} = 1000 \cdot \frac{2^2 \cdot 0,6}{12,5^2 \cdot 77} = 0,199480519 \quad (5.14)$$

$$v_m = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} = 0,65 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,5652 \cdot 77}{12,5}} = 0,985161985 \quad (5.15)$$

$$v'_m = 1,3 \cdot \frac{W_0 \cdot D}{H} = 1,3 \cdot \frac{2 \cdot 0,6}{12,5} = 0,1248 \quad (5.16)$$

$$f_e = 800 \cdot (v'_m)^3 = 800 \cdot (0,1248)^3 = 1,555011994 \quad (5.17)$$

Коэффициент m для $f = 0,199480519 < 100$:

$$m = \frac{1}{0,67+0,1 \cdot \sqrt[3]{f+0,34 \cdot \sqrt[3]{f}}} = \frac{1}{0,67+0,1 \cdot \sqrt[3]{0,199480519+0,34 \cdot \sqrt[3]{0,199480519}}} = 1,344869923 \quad (5.18)$$

Коэффициент n при $f = 0,199480519 < 100$ при $0,5 \leq v_m \leq 2$:

$$n = 0,532 \cdot v_m^2 - 2,13 \cdot v_m + 3,13 = 0,532 \cdot 0,9852^2 - 2,13 \cdot 0,9852 + 3,13 = 1,547934453 \quad (5.19)$$

По формуле (5.10) C_m (мг/м³) при $M_c = 1,15$ (г/с) и M_{Σ} равно:

$$C_{M_c} = \frac{A \cdot M_c \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} = \frac{200 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1,344869923 \cdot 1,547934453 \cdot 1}{12,5^2 \cdot \sqrt[3]{0,5652 \cdot 77}} = 0,871183614 \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right) \quad (5.20)$$

$$C_{M\Sigma} = \frac{A \cdot M_{\Sigma} \cdot F \cdot m \cdot n \cdot \eta}{H^2 \cdot \sqrt[3]{V_1 \cdot \Delta T}} = \frac{200 \cdot 27,58823529 \cdot 1 \cdot 1,344869923 \cdot 1,547934453 \cdot 1}{12,5^2 \cdot \sqrt[3]{0,5652 \cdot 77}} = 20,89949436 \left(\frac{\text{мг}}{\text{м}^3} \right) \quad (5.21)$$

5.3.2 Расчёт расстояния X_m (м) от источника примесей. При данном расстоянии приземная концентрация атмосферных выбросов C (мг/м³) достигла наибольшего значения C_m (мг/м³):

$$X_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H, \quad (5.22)$$

где d при $f = 0,199480519 < 100$ и $0,5 \leq v_m \leq 2$ считается с помощью формулы (5.23):

$$d = 4,95 \cdot v_m \cdot \left(1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{f} \right) = 4,95 \cdot 0,9852 \cdot \left(1 + 0,28 \cdot \sqrt[3]{0,1995} \right) = 5,674370821 \quad (5.23)$$

Тогда расстояние по формуле (5.22) равно:

$$X_m = \frac{5-F}{4} \cdot d \cdot H = \frac{5-1}{4} \cdot 5,674370821 \cdot 12,5 = 70,92963526 \text{ (м)} \quad (5.24)$$

На 10 метрах от уровня земной поверхности (уровень флюгера) опасная ветровая скорость u_m (м/с) для C_m (мг/м³) при $f = 0,199480519 < 100$ и $0,5 \leq v_m \leq 2$ равна v_m :

$$u_m = v_m = 0,985161985 \text{ (м/с)} \quad (5.25)$$

5.3.3 Определение L_0 и приземных концентраций для разных расстояний. При u_m C (мг/м³) на разном расстоянии X (м) равно:

$$C = s_1 \cdot C_m \quad (5.26)$$

где s_1 – коэффициент, определяющийся исходя из соотношения X/X_m и F :

$$s_1 = 3 \cdot \left(\frac{X}{X_m} \right)^4 - 8 \cdot \left(\frac{X}{X_m} \right)^3 + 6 \cdot \left(\frac{X}{X_m} \right)^2 \text{ при } X/X_m \leq 1; \quad (5.27)$$

$$s_1 = \frac{1,13}{0,13 \cdot \left(\frac{X}{X_m} \right)^2 + 1} \text{ при } 1 < X/X_m \leq 8; \quad (5.28)$$

$$s_1 = \frac{X/X_m}{3,58 \cdot \left(\frac{X}{X_m} \right)^2 - 35,2 \cdot \left(\frac{X}{X_m} \right) + 120} \text{ при } F \leq 1,5 \text{ и } X/X_m \geq 8; \quad (5.29)$$

Результат расчёта концентраций сажи и выбросов показан в таблице 5.2.

Т а б л и ц а 5.2 – Определение приземной концентрации сажи и суммации выбросов

X, м	X/X _m	s ₁	C _C , мг/м ³	C _Σ , мг/м ³
0	0	0	0	0
10	0,140984794	0,09802701	0,085399525	2,048714949
100	1,409847938	0,897967628	0,782294683	18,76706938
500	7,049239689	0,151475923	0,131963342	3,165770203
1000	14,09847938	0,042044874	0,036628805	0,878716599
1100	15,50832732	0,03564098	0,031049837	0,744878453
1200	16,91817525	0,030807118	0,026838656	0,643853187
1300	18,32802319	0,027055052	0,023569918	0,5654369
1400	19,73787113	0,024072451	0,020971525	0,503102061
1500	21,14771907	0,021652893	0,018863646	0,452534516
2000	28,19695876	0,014285533	0,012445322	0,298560407
5000	70,49239689	0,004569025	0,003980459	0,095490305
10000	140,9847938	0,002125956	0,001852098	0,044431396
15000	211,4771907	0,001384168	0,001205864	0,028928406

Рисунок 5.4 иллюстрирует график зависимости величины C (мг/м³) от X (м). Из рисунка 5.1 видно, что концентрация выбросов газовоздушной смеси превысила ПДК = 0,5 (мг/м³) вплоть до 1400 м. Значит, $L_0 = 1400$ (м).

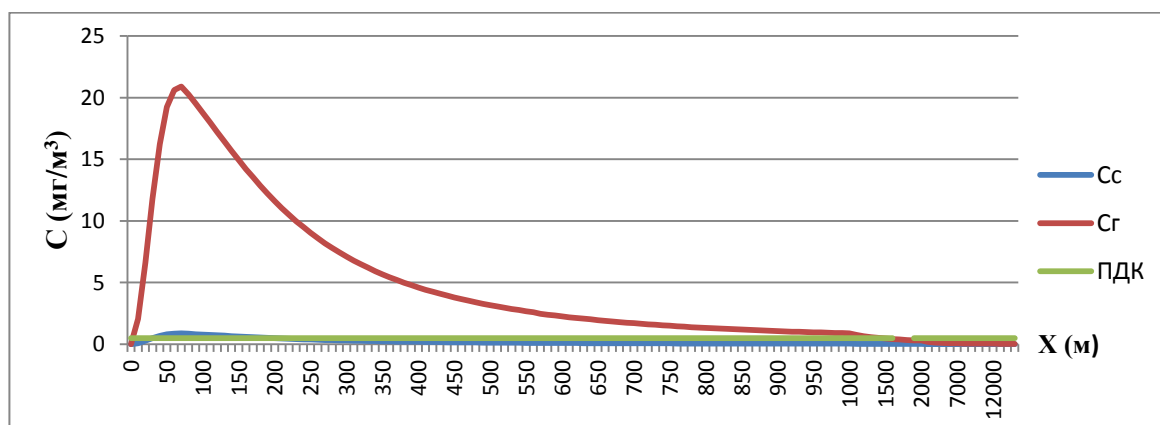


Рисунок 5.4 – Приземная атмосферная концентрация сажи, выбросов на разных расстояниях

5.3.4 Расчёт границ санитарно-защитной зоны (СЗЗ):

$$L = L_0 \cdot \frac{P}{P_0}, \quad (5.30)$$

где L (м) – размер СЗЗ;

L_0 (м) – размер участка территории, на котором концентрация примесей выше ПДК, в заданном направлении;

P (%) – повторяемость направления ветров румба (среднегодовая);

P_0 (%) – повторяемость направлений ветров 1 румба для круговой

розы ветров (для 8-ми румбовой $P_0 = \frac{100}{8} = 12,5 \%$).

Расчёт размер СЗЗ проводится по формуле (5.30):

$$L_C = L_0 \cdot \frac{P_C}{P_0} = 1400 \cdot \frac{24}{12,5} = 2688 \text{ (м)}$$

$$L_{CB} = L_0 \cdot \frac{P_{CB}}{P_0} = 1400 \cdot \frac{14}{12,5} = 1568 \text{ (м)}$$

$$L_B = L_0 \cdot \frac{P_B}{P_0} = 1400 \cdot \frac{7}{12,5} = 784 \text{ (м)}$$

$$L_{ЮВ} = L_0 \cdot \frac{P_{ЮВ}}{P_0} = 1400 \cdot \frac{24}{12,5} = 2688 \text{ (м)}$$

$$L_{Ю} = L_0 \cdot \frac{P_{Ю}}{P_0} = 1400 \cdot \frac{6}{12,5} = 672 \text{ (м)}$$

$$L_{ЮЗ} = L_0 \cdot \frac{P_{ЮЗ}}{P_0} = 1400 \cdot \frac{6}{12,5} = 672 \text{ (м)}$$

$$L_З = L_0 \cdot \frac{P_З}{P_0} = 1400 \cdot \frac{6}{12,5} = 672 \text{ (м)}$$

$$L_{СЗ} = L_0 \cdot \frac{P_{СЗ}}{P_0} = 1400 \cdot \frac{13}{12,5} = 1456 \text{ (м)}$$

По данным начертим «розу ветров» и СЗЗ АТС-34 (рисунки 5.5 и 5.6):

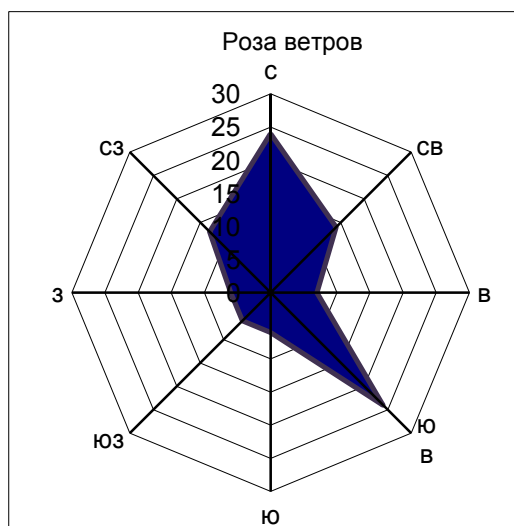


Рисунок 5.5 – «Роза ветров»

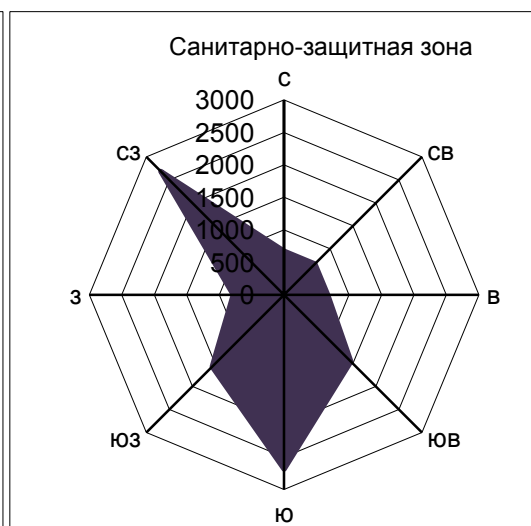


Рисунок 5.6 – СЗЗ станции АТС-34

Анализ «розы ветров» показывает, что целесообразно производить постройки жилого квартала в направлениях: западном, южном, юго-западном.

6. Бизнес-план

6.1 Цель и задачи проекта

Цель работы - построение сети GPON для предоставления клиентам отдельно взятого района (жилого массива «Жансая» города Тараз) услуги Triple Play. В подключенном районе расположено 15 домов, этажностью от 5-ти до 9-ти, с общим количеством квартир 848. По прогнозам заинтересованность в услуге составит 1/3 от общего числа квартир: 282 квартиры. Задача построения сети GPON – внесение изменений в использование ШПД, которые могут стимулировать развитие инновационных услуг, что приведет к социально-экономическим выгодам: повышение конкурентоспособности бизнеса, активация экономического роста, более эффективное оказание социальных услуг, сокращение загрязнения окружающей среды. Построение сети включает в себя этапы: сбор необходимых сведений и формирование руководящей группы, бизнес-план, финансирование, закупки, развёртывание, активация услуг. Бизнес-план представляет собой формирование финансового плана, в том числе анализа доходов и планируемых расходов, и в конечном итоге обоснование экономической эффективности проекта.

6.2 Компания и отрасль

Компания «Казахтелеком» является крупным региональным интегрированным оператором на рынке телекоммуникаций. Строительство сетей GPON является приоритетным направлением деятельности компании, обеспечивающим лидерство на рынках услуг ШПД, предоставления контента и приложений, корпоративных инфокоммуникационных услуг, на оптовом телекоммуникационном рынке.

6.3 Описание продукции (услуг)

Высокая пропускная способность сети GPON является хорошей базой для предоставления большого количества услуг. Услуги делятся по сегментам рынка: жилой сектор, бизнес клиенты, третьи лица, государственный сектор. Типичные услуги для *жилого сектора* называются Triple Play. Triple Play подразумевает доставку клиентам данных, голоса, видео. Голос – традиционная телефония и видеоконференции (с использованием VOIP). Данные - это

Интернет-доступ (интернет-магазины, онлайн-банкинг и т.д.). Видео - интерактивное IP-телевидение (IPTV): просмотр ТВ-программ, «видео по запросу». Высокие требования к пропускной способности, надёжности и уровню безопасности предприятий *бизнеса* требуют организации индивидуальных подключений и разработки индивидуальных пакетов услуг с рядом дополнительных функций, таких как повышенный срок гарантии, высокий уровень безопасности и более высокое качество поддержки. Примеры услуг: облачные сервисы и услуги аутсорсинга, видеоконференцсвязь и программы телеприсутствия, высокочастотная работа на фондовом рынке. Политика открытого доступа, позволяющая *третьим лицам (сторонним поставщикам услуг)* предлагать свои услуги в сети, улучшает экономические показатели. Так, совместно с владельцем энергосети можно предлагать продукт для реализации интеллектуальных сетей и/или технологий домашней автоматизации. К услугам *государственного сектора* относятся услуги, связанные со спецификой учреждений: школ, библиотек, больниц, поликлиник, правительственных зданий (доступ к школьным серверам, доступ к онлайн-коммунальным услугам, онлайн-голосование и т.д.).

6.4 Анализ рынка

Потенциальными покупателями услуг сети GPON являются предприятия и частные лица, бизнес-центры, банки, представительства иностранных фирм. Рынок операторов Жамбылской области не так велик и растёт медленно, поскольку технология новая и недавно себя зарекомендовала. Фактически главными конкурентами являются компании «Beeline» и компания-монополист «Казахтелеком», постепенно осуществляющие переход на GPON. В городе Тараз на 2014 г. 15000 человек пользуются услугами ШПД, предоставляемых «Beeline», свыше 80 000 человек обслуживает провайдер «Казахтелеком», доля остальных конкурентов («Нурсат», «Astel») незначительна. Ресурс доступен для любых провайдеров на справедливых и недискриминационных условиях, потому в ближайшие годы ожидается появление новых конкурентов.

6.5 Менеджмент

Менеджмент в акционерных обществах, таких как АО «Казахтелеком», отличается корпоративной природой, имеет иерархическую структуру управления, включающую в себя менеджеров высшего, низшего и среднего звена. Этапами планирования, строительства и эксплуатации сети занимаются разные группы людей, что позволяет оптимально распределить обязанности и осуществлять контроль на протяжении всего проекта. Кадровая политика

включает в себя карьерный рост работников, взаимосвязь окладов с итогами оценки их деятельности, стимулирование их посредством премий, организацию командировок.

6.6. План маркетинга

Дабы определить спрос на услугу, необходимо провести опрос потенциальных клиентов, позволяющий определить, какие услуги наиболее востребованы, насколько абоненты удовлетворены качеством существующих услуг, тарифными планами и решением возникающих проблем провайдером сети, в получении каких услуг заинтересованы клиенты и по какой цене, какие новые услуги хотели бы получать, также получить информацию о конкурентах, работающих в регионе, их тарифных планах, системе скидок, географии сети, числе клиентов. Для привлечения клиентов, их стимулирования и продвижения услуг необходимо организовать рекламу в СМИ, баннерную рекламу, рекламу на билбордах, раздачу листовок, открытие временных информационных центров, информирующих потенциальных абонентов о ходе строительства, услугах и доступных сервисах. Во избежание ошибок, которые могли бы оттолкнуть клиентов, необходимо запустить сеть в тестовом режиме с предоставлением бесплатного доступа для маленького числа клиентов, что устранил неполадки и обеспечит стабильное функционирование сети без ущерба для репутации, тем самым позволит сформировать хорошее мнение о бизнесе, подготовив почву для успешного коммерческого запуска [13].

6.7 Финансовый план

6.7.1 Расчёт инвестиционных затрат [2]. Для определения величины капитальных затрат используется формула (6.1):

$$\sum K_{вл} = K_o + K_{тр} + K_c + K_{мон} + K_m \quad (6.1)$$

где K_o – вложения капитала в закупку оборудования;

$K_{тр}$ – вложения капитала в расходы на транспорт (5 % от стоимости оборудования);

K_c – вложения капитала в строительство (30 % от стоимости оборудования);

$K_{мон}$ – вложения капитала в монтаж, установку оборудования (10 % от стоимости оборудования);

K_m – стоимость рабочих мест в год.

В таблице 6.1 приведено оборудование и его стоимость для построения сети абонентского доступа GPON на 15 домов.

Т а б л и ц а 6.1 - Наименование и стоимость оборудования для построения сети GPON на 15 домов

Наименование оборудования	Количество	Цена, тенге	Стоимость, Тенге
Станционное оборудование OLT Hi-Focus 5 F-152-HB	1 шт.	5752679	5752679
Абонентский терминал ONT B-Focus O-4G2PW/O-4F2PW	848 шт.	9000	7632000
Оптический кросс ODF RFO 3М (оптический распределительный шкаф)	1 шт.	210000	210000
Оптическая прямая муфта ШМ-01-144-6-100	1 шт.	10000	10000
Оптическая магистральная муфта MOT-5T-24/2 (на 144 – 11-палай, на 72 – 9-палай)	3 шт.	8633	25899
Оптическая разветвительная муфта 3М (на 8 -4-палай)	11 шт.	1100	12100
Оптический сплиттер PLC 3М (1×4, 1×8)	69 шт.	9000	621000
Оптическая распределительная сплиттерная коробка КРЭ-24-1 3М (ОПКс-8, ОПКс-16) с замком	50 шт.	1400	70000
Кабель оптический КС-ОКБ-П-12-G.652.D-CF-80-LSZH (ОКБ-144, ОКБ-72, ОКБ-8, ОКБ-4) с 5,7% запасом	6586 м.	430439 (за 1 км)	2834871, 254
Кабель оптический КС-FTTH-A-1-G.657.A2-FF-0,15-4037 со сверхгибким волокном	2681 м.	28863 (за 1 км)	77381,703
Кабель оптический КС-ОКС-A-144/12-G.652.D-MC-CF-LSZH-1,0 5015 (БОК-144)	61 м.	1289491 (за 1 км)	78658,951
Абонентская розетка оптическая 8686 SC-SM	848 шт.	150	127200
Пигтейл FC, 1 метр, одномодовый SM	848 шт.	700	593600
Патч-корд 5Е	848 шт.	300	254400
Итого:	-	-	18299790

Оптовая цена оборудования сети GPON: 18299790 тенге. Расчёт затрат на организацию рабочего места приведён в таблице 6.2, исходя из которой определяется итоговая сумма, необходимая для реализации комфортных и удобных рабочих мест.

Т а б л и ц а 6.2 - Расчёт затрат на организацию рабочего места

Наименование	Цена, тенге	Кол-во	Стоимость, тенге
Компьютер (системный блок, монитор)	70000	4	280000
Компьютерный стол	10000	4	40000
Стул	4500	4	18000
Шкаф	13000	1	13000
Итого:	-	-	351000

Общая стоимость организации рабочего места: 351 000 тенге.

Стоимость перевозки к месту эксплуатации (5 % от стоимости оборудования):

$$K_{\text{тр}} = K_o \cdot 0,05 = 914990 \text{ (тенге)} \quad (6.2)$$

Вложения капитала в строительство (30 % от стоимости оборудования):

$$K_c = K_o \cdot 0,3 = 5489937 \text{ (тенге)} \quad (6.3)$$

Стоимость монтажа, установки оборудования (10 % от стоимости оборудования):

$$K_{\text{мон}} = K_o \cdot 0,1 = 1829979 \text{ (тенге)} \quad (6.4)$$

Рассчитаем капитальные затраты по формуле (6.1):

$$\sum K_{\text{вл}} = 18299790 + 914990 + 5489937 + 1829979 + 351000 = \\ = 26885696 \text{ (тенге)}$$

6.7.2 Расчёт годовых эксплуатационных расходов [4]. Величина годовых расходов на эксплуатацию (фактическая производственная себестоимость):

$$\sum \mathcal{E} = \text{ФОТ} + O_c + M + C_{\text{эл}} + A + \Pi_{\text{пр}} + \Pi_{\text{упр}} \quad (6.5)$$

где ФОТ – фонд оплаты труда;

O_c – социальный налог;

M – расходы на материалы, ремонт;

$C_{\text{эл}}$ – электроэнергия для производственных нужд;

A – амортизационные отчисления;

$\Pi_{\text{пр}}$ – иные производственные, транспортные расходы (35 % от ФОТ);

$\Pi_{\text{упр}}$ – иные административно - управленческие и эксплуатационно – хозяйственные расходы (15 % в общей сумме эксплуатационных затрат).

ФОТ складывается из основной зарплаты и дополнительной зарплаты (работа в праздничные дни, сверхурочные, премиальные выплаты и т.д.). Для вычисления основной зарплаты в таблице 6.3 приведём оклады персонала.

Т а б л и ц а 6 . 3 – Месячная и годовая зарплата работников

Наименование должностей	Количество штатных единиц, чел	Месячная зарплата, тенге, на 1 работника	Годовая заработная плата, тенге, на 1 работника	Всего ФОТ, тенге в год
Ведущий инженер	1	100 000	1 200 000	1 200 000
Инженер 1 категории	1	80 000	960 000	960 000
Оператор	2	60 000	720 000	1 440 000
Кабельщик	4	40 000	480 000	1 920 000
Всего:	8	280 000	3 360 000	5 520 000

Основная зарплата составила 5520000 тенге. Годовой фонд дополнительной зарплаты в размере 30 % от основной заработной платы рассчитывается по формуле (6.6):

$$З_{\text{пдоп}} = З_{\text{посн}} \cdot 0,3 = 5520000 \cdot 0,3 = 1656000 \text{ (тенге)} \quad (6.6)$$

где $З_{\text{посн}}$ - годовой фонд основной зарплаты.
ФОТ равен:

$$\text{ФОТ} = З_{\text{посн}} + З_{\text{пдоп}} = 5520000 + 1656000 = 7176000 \text{ (тенге)} \quad (6.7)$$

Отчисления на пенсионный фонд составляют 10 %, на социальный налог - 11 % от отчислений на пенсионный фонд:

$$O_c = 0,11 \cdot (\text{ФОТ} \cdot 0,1) = 0,11 \cdot (7176000 \cdot 0,1) = 78936 \text{ (тенге)} \quad (6.8)$$

Расходы на материалы составляют 5 % от стоимости оборудования:

$$M = K_0 \cdot 0,05 = 18299790 \cdot 0,05 = 914990 \text{ (тенге)} \quad (6.9)$$

Расходы на электроэнергию равны:

$$C_{\text{эл}} = W \cdot T \cdot S = 2,8 \cdot 8760 \cdot 14,7 = 360562 \text{ (тенге)} \quad (6.10)$$

где W – мощность, потребляемая оборудованием, $W = 2,8$ (кВт);

T - число часов работы $T = 8760$ (ч/год);

S - стоимость киловатт-часа электроэнергии $S = 14,7$ (тенге/кВт-час).

5 % от мощности, потребляемой основным оборудованием, составляет мощность на иные нужды. Стоимость электроэнергии на иные нужды:

$$C_{\text{эл.пр}} = C_{\text{эл}} \cdot 0,05 = 18028 \text{ (тенге)} \quad (6.11)$$

Общие затраты на электроэнергию:

$$C_{\text{эл.общ}} = C_{\text{эл}} + C_{\text{эл.пр}} = 360562 + 18028 = 378590 \text{ (тенге)} \quad (6.12)$$

Сумма амортизационных отчислений рассчитывается исходя из единых норм, устанавливаемых в процентах от стоимости основных фондов:

$$A_0 = \frac{\Phi \cdot H_A}{100 \%} \quad (6.13)$$

где Φ – балансовая стоимость основных фондов, тенге;

H_A – норма амортизационных отчислений.

Рассчитаем амортизационные отчисления для оборудования, компьютеров, мебели по формуле (6.13). Для оборудования сети амортизация равна 25 % от цены оборудования (A_1), для компьютеров - 40 % от цены (A_2), для мебели офиса - 15 % (A_3):

$$A_1 = 18299790 \cdot 0,25 = 4574948 \text{ (тенге)}$$

$$A_2 = 280000 \cdot 0,4 = 112000 \text{ (тенге)}$$

$$A_3 = 71000 \cdot 0,15 = 10650 \text{ (тенге)}$$

Амортизационные отчисления равны:

$$A = A_1 + A_2 + A_3 = 4574948 + 112000 + 10650 = 4697598 \text{ (тенге)} \quad (6.14)$$

Иные производственные, транспортные расходы составляют 35 % от ФОТ:

$$P_{\text{пр}} = 0,35 \cdot \text{ФОТ} = 0,35 \cdot 7176000 = 2511600 \text{ (тенге)} \quad (6.15)$$

Иные административно – управленческие, эксплуатационно-хозяйственные расходы равны 15% от общей суммы затрат на эксплуатацию:

$$P_{\text{упр}} = 0,15 \cdot (\text{ФОТ} + O_c + M + C_{\text{эл}} + A + P_{\text{пр}}) + 914990 + 914990 + 378590 + 4697598 + 2511600 = 2363657 \text{ (тенге)} \quad (6.16)$$

Таким образом, эксплуатационные расходы по формуле (6.6) составят:

$$\sum \Xi = 7176000 + 78936 + 914990 + 378590 + 4697598 + 2511600 + 2363657 = 18121371 \text{ (тенге)}$$

Т а б л и ц а 6.4 – Эксплуатационные расходы

Статьи эксплуатационных затрат	Стоимость, тенге
Фонд оплаты труда	7176000
Социальный налог	78936
Амортизационные отчисления	4697598
Затраты на материалы, ремонт	914990
Затраты на электроэнергию	378590
Иные производственные, транспортные расходы	2511600
Иные административно – управленческие, эксплуатационно- хозяйственные расходы	2363657
Итого:	18121371

6.7.3 Расчёт доходов от основной деятельности - доходов, полученных за весь объём реализованных покупателями услуг связи по тарифам [4]:

$$D_{o.d.} = \sum_{i=1}^n q_i^{пл} \cdot \bar{C}_i^{пл} (\text{тенге}) \quad (6.17)$$

где $q_i^{пл}$ – запланированный объём i -го вида услуг (натуральная величина);
 n – номенклатура услуг (категория);

$\bar{C}_i^{пл}$ – планируемый тариф на i -й вид услуг, тенге (планируемая средняя доходная такса).

На проектируемой сети абонентского доступа всего 848 абонентов: физические лица - 823 номера; юридические лица – 25 номеров. Количество обычных пользователей сети Интернет (потребителей услуги iD Net) – 636 номеров, количество потребителей услуги Triple Play – 212 номера, из них: 70 номеров (60 физических и 10 юридических) – iD Net + iD Phone; 130 номеров (120 физических и 10 юридических) – iD Net + iD TV; 12 номеров (7 физических и 5 юридических) – iD Net + iD Phone + iD TV. Тарифы за пользование услугой одинаковы для физических, юридических лиц: iD Net - 4600 тенге; iD Phone – 5300 тенге; iD TV – 1500 тенге.

Т а б л и ц а 6 . 5 – Доходы от основной деятельности

Услуга	Объём услуг (аб)	Тариф/месяц (тг)	Ожидаемые доходы за месяц (тг)	Ожидаемые доходы за год (тг)
iD Net	636	4600	2925600	35107200
iD Net + iD Phone	70	9900	693000	8316000
iD Net + iD TV	130	6100	793000	9516000
iD Net + iD TV + iD Phone	12	11400	136800	1641600
Итого:	848	-	4548400	54580800

Для вычисления доходов услуг в форме предоставления потребителям в использование технических устройств (для данного проекта оптических сетевых терминалов ONT) формула (6.18):

$$D_{\text{тех. устр. } i} = \sum_{i=1}^n \bar{C}_i \cdot \bar{N}_i (\text{тенге}) \quad (6.18)$$

где \bar{C}_i – средняя абонентская плата за пользование техническими устройствами i -го вида услуг в плановом периоде (плата за подключение к порту). Плата за подключение к порту одинакова для физических и юридических лиц: iD Net - 0 тенге; iD Phone – 7000 тенге; iD TV – 1000 тенге;

\bar{N}_i – среднегодовое количество технических устройств i -вида.

Т а б л и ц а 6 . 6 – Доходы от пользования техническими устройствами

Услуга	Объём услуг (аб)	Плата за подключение (тг)	Ожидаемые доходы за год (тг)
ONT для iD Net	636	0	0
ONT для iD Phone+iD Net + iD Phone	70	7000	490000
ONT для iD Net +iD TV	130	1000	130000
ONT для iD Net +iD Phone + iD TV	12	8000	96000
Итого:	848	-	716000

Общий годовой объём доходов есть сумма, полученная от всех видов услуг:

$$\sum D_{г.д.} = D_{о.д.} + D_{устр.і}^{тех.} = 54580800 + 716000 = 55296800 \text{ (тенге)} \quad (6.19)$$

6.7.4 Расчёт показателей экономической эффективности [2]. Прибыль предприятия – это доходы предприятия от основной деятельности за вычетом эксплуатационных расходов, облагается корпоративным налогом, который в Казахстане составляет 20%. Прибыль предприятия до налогообложения:

$$П = Д - \Sigma Э = 55296800 - 18121371 = 37175429 \text{ (тенге)}, \quad (6.20)$$

где D - годовой доход;

$\Sigma Э$ – эксплуатационные расходы.

Сумма, отчисляемая на корпоративный налог с прибыли, равна:

$$Н = П \cdot 20 \% = 37175429 \cdot 0,2 = 7435086 \text{ (тенге)} \quad (6.21)$$

Чистая прибыль в распоряжении провайдера есть прибыль после налогообложения:

$$ЧП = П - Н = 37175429 - 7435086 = 29740343 \text{ (тенге)} \quad (6.22)$$

Коэффициент абсолютной экономической эффективности вложений капитала в построение нового объекта, в данном случае сети:

$$E_a = \frac{ЧП}{\Sigma K_{вл}} = \frac{29740343}{26885696} = 1,106 \quad (6.23)$$

Срок окупаемости вложений капитала – величина, показывающая, за какой период времени произойдет возврат денежных средств (капитальных вложений), затраченных на организацию предприятий:

$$T = \frac{\Sigma K_{вл}}{ЧП} = \frac{1}{E_a} = \frac{1}{1,106} = 0,904 \text{ (года)} = 11 \text{ (мес.)} \quad (6.24)$$

$$\text{Выполняются два условия эффективности: } T_p \leq T_n, E_p \geq E_n \quad (6.25)$$

где $T_p = 0,933$ (года) - расчётный срок окупаемости;

$T_n = 5$ (лет) - нормативный срок окупаемости;

$E_p = 1,072$ - расчётный коэффициент эффективности;

$E_n = 0,2$ - нормативный коэффициент эффективности.

Следовательно, данный проект экономически эффективен. Все экономические показатели по проекту создания сети доступа на базе технологии GPON сведём в таблицу 6.7.

Т а б л и ц а 6 . 7 – Показатели проектной экономической эффективности

Наименование показателей	Значения
Капитальные вложения, тенге	26885696
Эксплуатационные расходы, тенге	181211371
Доходы от деятельности, тенге	55296800
Прибыль до налогообложения, тенге	37175429
Прибыль после налогообложения, тенге	29740343
Абсолютная экономическая эффективность	1,106
Срок окупаемости, год	0,904

В настоящем разделе показан расчёт экономической эффективности проекта. При построении сети на базе технологии GPON, при капитальных затратах в 26885696 тенге, чистый годовой доход составил 29740343 тенге. При экономической эффективности 1,106 данный проект окупается за 11 месяцев (высокая окупаемость вложений), при этом выполняются условия эффективности, следовательно, построение сети GPON в городе Тараз очень выгодно, особенно для монополиста «Казахтелеком». Оборудование на АТС-34 стоит относительно дорого, однако возможно подключение к нему помимо микрорайона «Жансая» нескольких районов-кластеров, за счёт чего достигается снижение затрат, повышение доходов и эффективности проекта.

Заключение

Данный дипломный проект посвящён построению сети оптического абонентского доступа в городе Тараз. Сеть строится по топологии «мультидерево» на базе технологии GPON. Задачей данной дипломного проекта является решение проблемы обеспечения широкополосного доступа.

В первой главе дипломного проекта мною была проанализирована существующая сеть города Тараз, организация сервисов, рассмотрены технологии ШПД, варианты архитектуры FTTx, подробно проанализированы особенности и принцип работы технологии GPON, а также представлена схема проектируемой сети GPON и осуществлена постановка задач.

Во второй главе дипломного проекта мною была спроектирована сеть доступа GPON: выбрана топология сети доступа, разработана структурная схема проектируемой сети, разработаны схемы распределения кабелей и оборудования.

В третьей главе дипломного проекта был осуществлён выбор активного оборудования, пассивных компонентов и оптоволоконного кабеля.

В четвёртой главе дипломного проекта мною были рассчитаны параметры оптоволокна, оптический бюджет, регенерационный участок, параметры надёжности системы, а также была составлена программа по расчёту полосы пропускания и планируемой нагрузки, исходящей от абонентов проектируемой сети доступа.

В пятой главе дипломного проекта мною был представлен анализ условий труда на ОПТОКРОССе, была разработана система искусственного кондиционирования и произведен расчёт санитарно-защитной зоны.

В четвертой главе дипломного проекта был представлен бизнес-план проекта сети. При экономической эффективности 1,106 данный проект окупается за 11 месяцев, при этом выполняются условия эффективности, следовательно проектирование сети абонентского доступа GPON в городе Тараз и внедрение Triple Play в сеть очень выгодно, особенно для монополиста «Казахтелеком». В процессе реализации проекта оказалось, что достигается высокая окупаемость вложений. К дорогостоящему оборудованию, расположенному на станции можно подключить несколько таких районов, следовательно, затраты заметно снизятся, и коэффициент эффективности существенно повысится.

Список литературы

- 1 Алексеев Е.Б. Оптические сети доступа. Учебное пособие. - М.: ИПК при МТУСИ, 2005 – 140 с.
- 2 Базылов К.Б., Алибаева С.А., Бабич А.А. Методические указания по выполнению экономического раздела дипломной работы бакалавров для студентов всех форм обучения специальности 050719 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Алматы: АИЭС, -2008. -19 с.
- 3 Будников В.Ю., Пономарев Б.А. Технологии обеспечения качества обслуживания в мультисервисных сетях / Вестник связи.- 2000.- №9.
- 4 Голубицкая Е.А. Экономика связи: М.: -Радио и связь, 1999.
- 5 ГОСТ 12.1.005 - 88 ССБТ "Воздух рабочей зоны, общие санитарно - гигиенические требования".-М.: Изд-во стандартов, 2008.
- 6 Гринфилд. Д. Оптические сети. - Л.: Эко-Трендз, 2004 - 288с.
- 7 Гроднев И.И. Волоконно-оптические линии связи: Учебное пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1990. – 224 с.
- 8 Демина Е.В., Иодко Е.К., Майофис Л.И., Резникова Н.П., Организация, планирование и управление предприятиями связи. Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1990 – 243 с.
- 9 Ефанов В.И. Проектирование волоконно-оптических линий связи: Учебное-методическое пособие для выполнения курсового проекта. - Томск: ТУСУР, 2012. – 101 с.
- 10 Иванов А.Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. - М: Сайрус системс, 1999. – 663 с.
- 11 Казиева Г.С., Ползик Е.В. IP-телефония и видеосвязь: Методические указания к выполнению курсовой работы, для студентов всех форм обучения для специальности 5В071900. - Алматы: АУЭС, 2011. – 32 с.
- 12 Карась А.Д. На пути к доступу нового поколения. «Сети и телекоммуникации», 2009, №4
- 13 Коммерческое руководство по сетям FTTH. Совет FTTH в Европе, 2012, №3
- 14 Складов О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы. – М.: СОЛОН-Р, 2001. – 238 с.
- 15 Санатова Т.С. Методические указания и задания к расчетно-графическим работам по курсу «Экология» для студентов, обучающихся по специальностям электроэнергетического направления. – Алматы: АИЭС, 2002-25 стр.
- 16 СНиП РК 2.02-05-2002 «Пожарная безопасность зданий и сооружений».
- 17 СНиП РК 2-04-05-2002 «Естественное и искусственное освещение».
- 18 СНиП РК 4.02-05-2001 «Отопление, вентиляция и кондиционирование».
- 19 СНиП РК 4.04-23-2004 «Электрооборудование жилых и общественных

зданий».

20 Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М.: Эко-Трендз, 2000. – 267 с.

21 Фаронов В. Delphi, программирование на языке высокого уровня: Учебник для вузов. – СПб.: Питер, 2006. – 640 с.

22 Фриманн Р. Волоконно-оптические системы связи. - М.: Техносфера, 2003 – 543 с.

23 Фокин В.Г. Оптические сети и принципы передачи – М.: ТИД «ДС», 2002 - 358 с.

24 Хакимжанов Т. Е. Расчет аспирационных систем. Дипломное проектирование. Для студентов всех форм обучения всех специальностей. – Алматы: АИЭС, 2002.

25 <http://feelair1.ru/catalog/item312/>

26 <http://www.huawei.com/ru>

27 <http://book.itep.ru/4/41/feth4112.htm#1>

28 <http://ftth.ru/networks-fttx/pon-passiv-optic-networks/network-scheme-pon/>

29 <http://works.tarefer.ru/9/100076/index.html>

30 http://www.wircom.com.ua/?d_id=924&var=1&lang=1

31 <http://www.lenservice.ru/knowledge-base/opticheskiy-kabel/harakteristiki-optovolokna.html>

32 http://delgame.at.ua/publ/drugie_stati/delphi_formuly/5-1-0-53

33 <http://delphi-vsem.ru/index.html>

Приложение А

Топологии сети доступа GPON

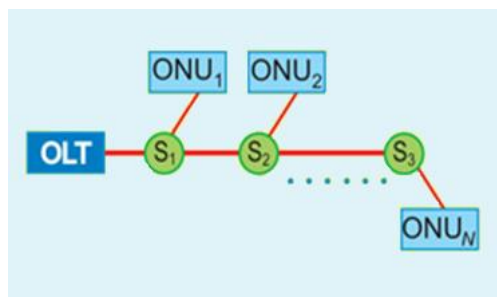


Рисунок А1 – Топология PON типа «шина» в общем случае

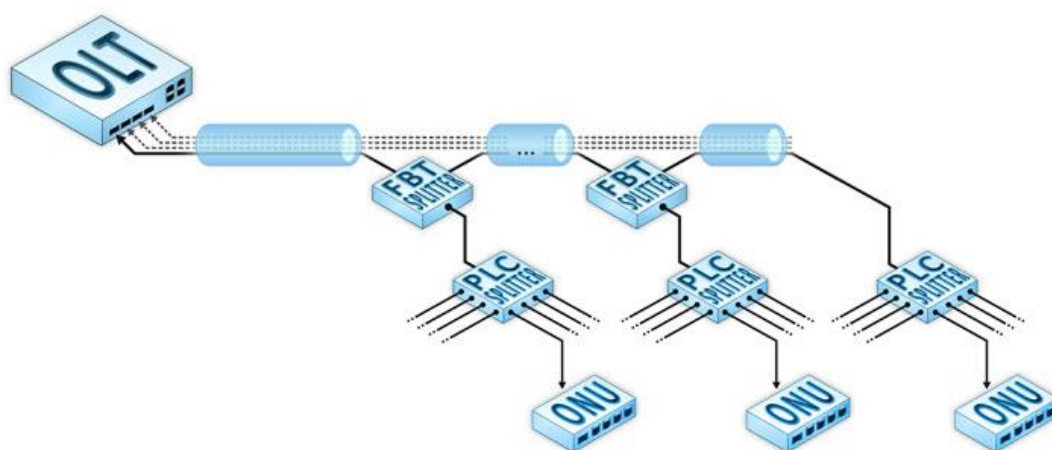


Рисунок А2 – Топология PON типа «шина» с комбинированием сварных и планарных делителей

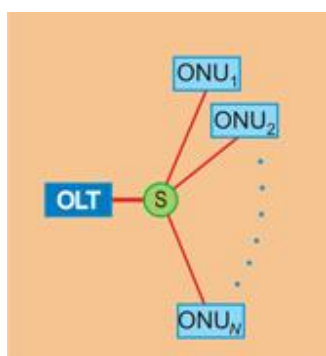


Рисунок А3 –
Топология «звезда»
в общем случае

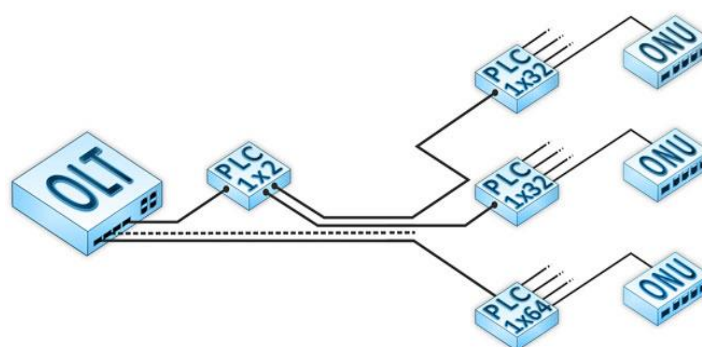


Рисунок А4 – Топология PON типа «звезда»

Продолжение приложения А

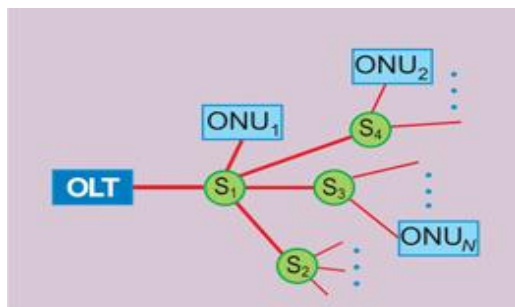


Рисунок А5 – Топология PON типа «дерево» в общем случае

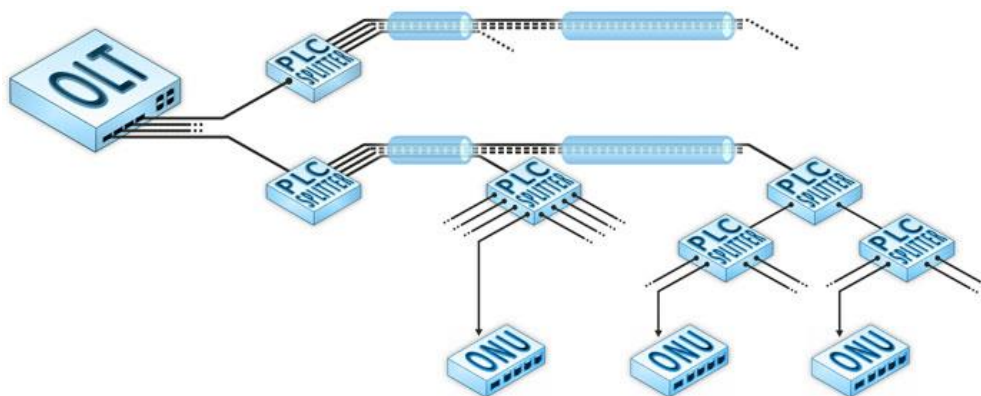


Рисунок А6 – Топология PON типа «одинокое растущее дерево»

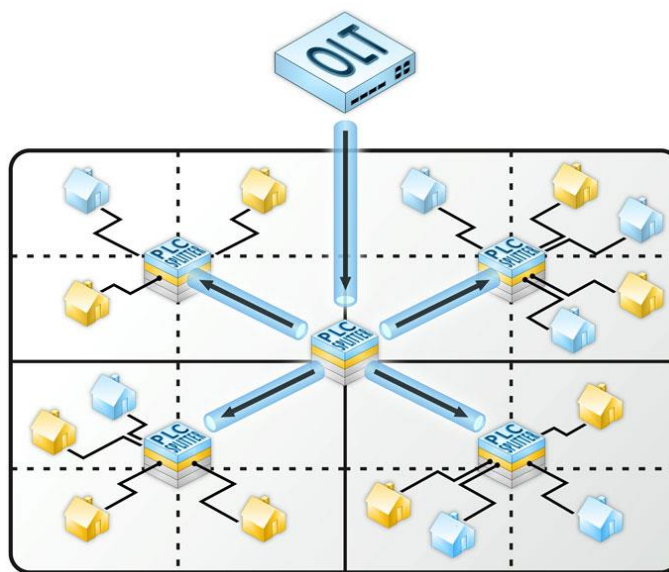


Рисунок А7 – Проектирование «мультидерева» квадратно-гнездовым

способом», используя PLC сплиттера 1х4

Продолжение приложения А

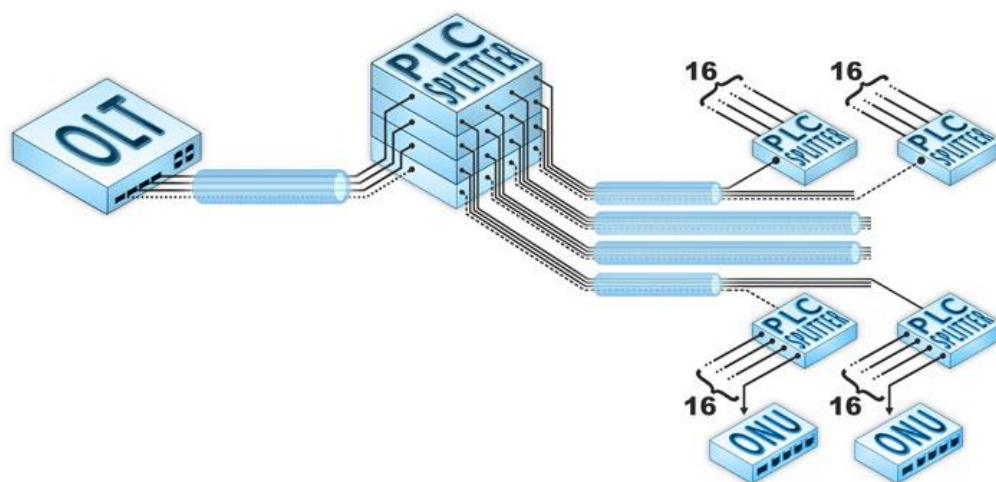
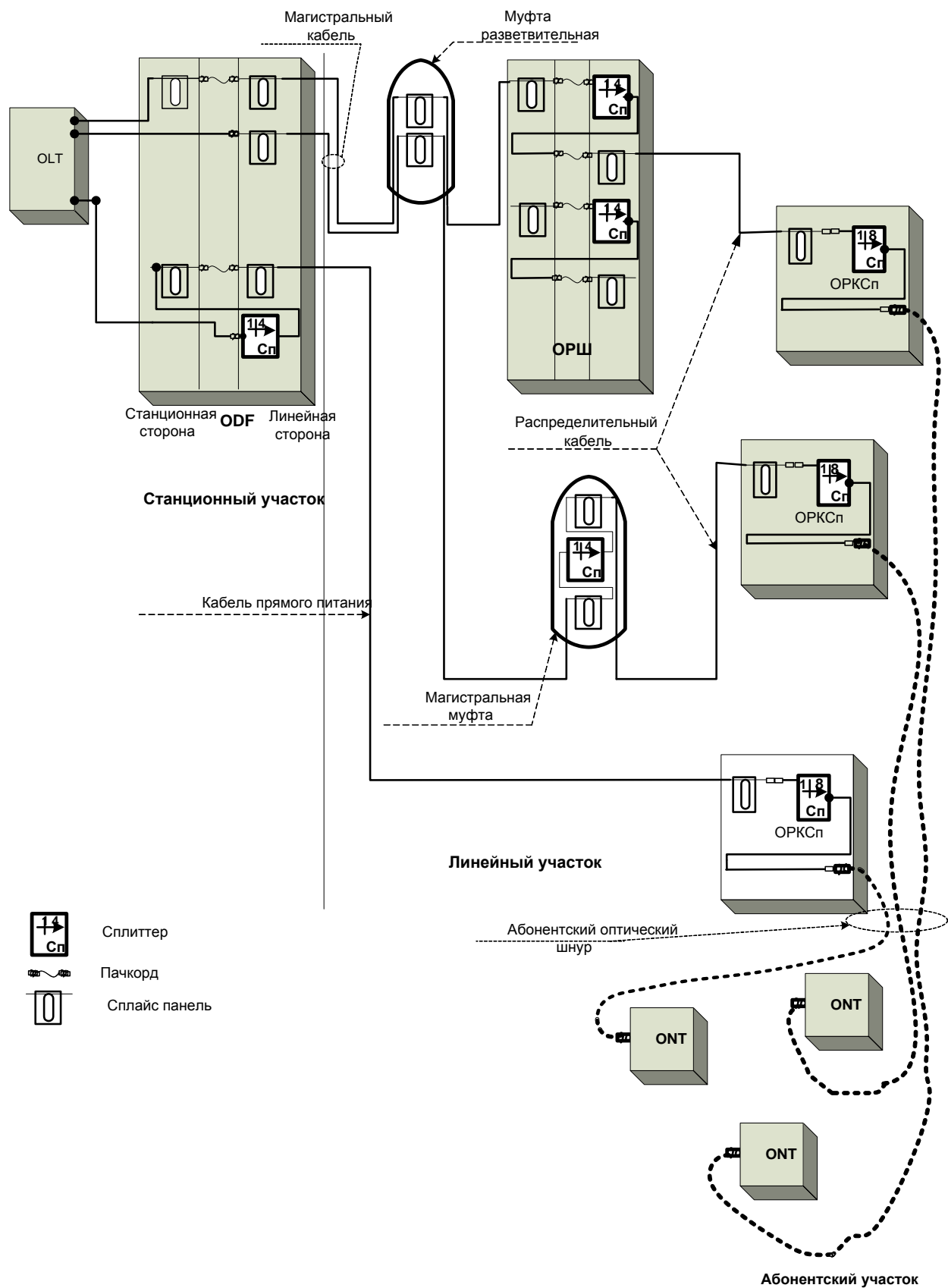


Рисунок А8 – Главный узел при процессе развития «мультидерева».

Приложение Б
Структура оптической пассивной сети PON



Приложение В Магистральный участок

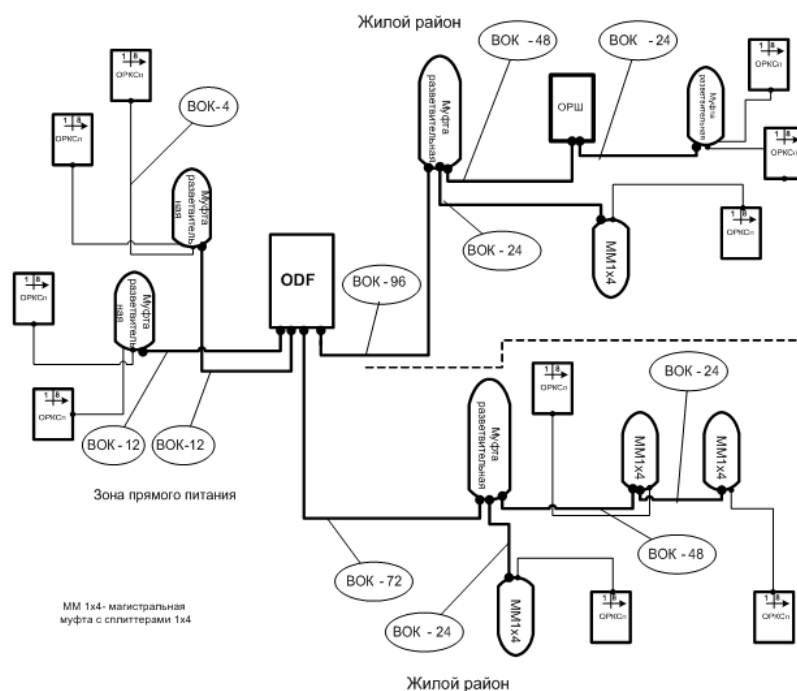


Рисунок В1 - Типовая схема построения магистральной оптической сети с использованием муфт, ОРШ

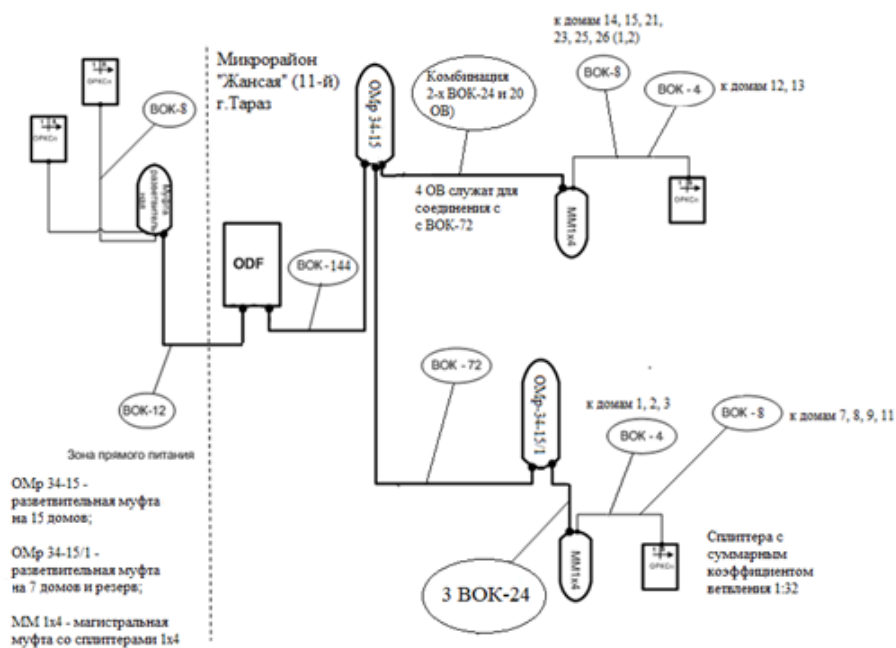


Рисунок В2 - Схема построения магистрального участка PON микрорайона «Жансая» города Тараз с использованием магистральных и разветвительных муфт

Приложение Г

Виды магистральных участков

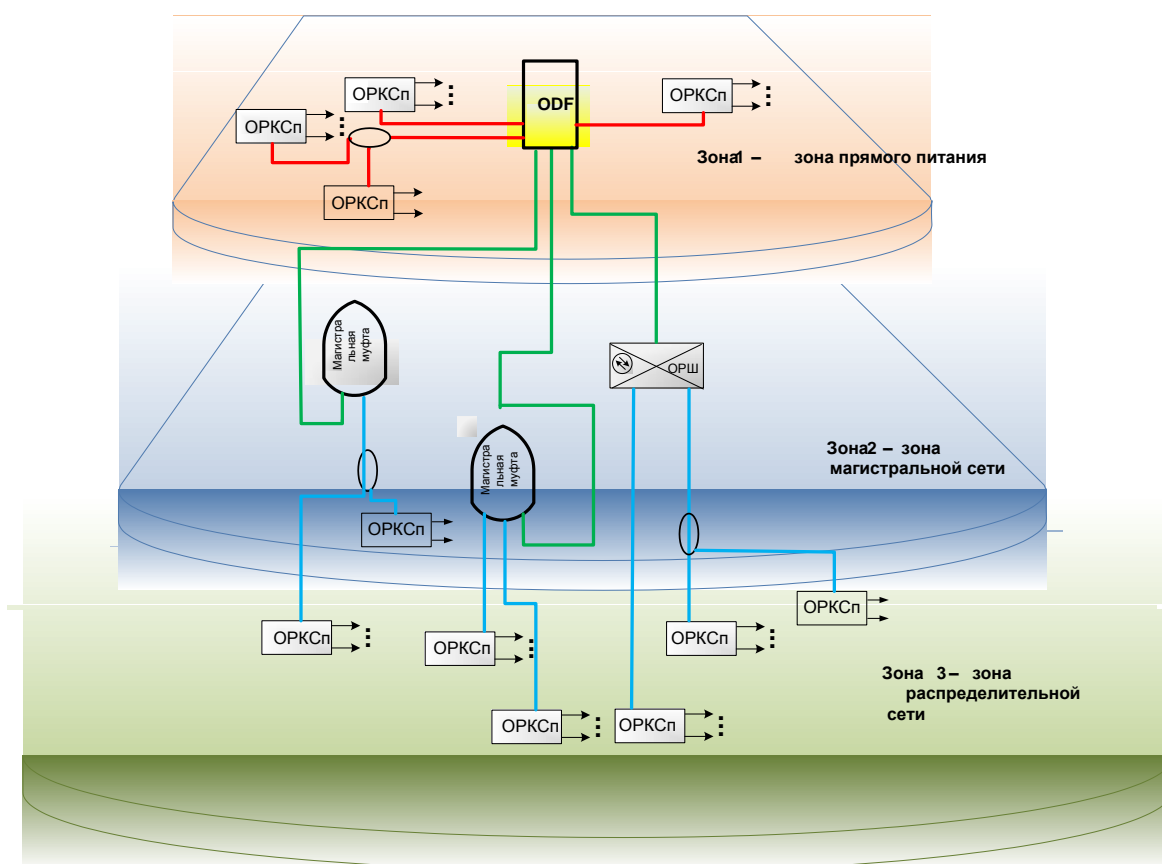


Рисунок Г1 - Охват территории населённого пункта сетью PON

Зона прямого питания – территория вокруг центрального сетевого узла или АТС, с плотной высотной застройкой (например, спальный район с АТС в центре), где развита инфраструктура телефонной канализации и нет острого дефицита в свободных кабельных каналах от данного сетевого узла или АТС, а также между домами. Сплиттеры 1 каскада 1х4 зоны прямого питания устанавливаются на оптическом кроссе. Для прокладки ВОК в зоне прямого питания при проектировании используется легко бронированный ВОК высокой ёмкости с модульной структурой и стандартные волокна типа G-652.D, муфты разветвительные механические, делающие возможным многократный доступ к ОВ. В зоне прямого питания до разветвительных участков не рекомендуется применять ВОК меньше 12-ти ОВ. *Зоной магистральной сети* называют территорию, удалённую от АТС на очень большое расстояние. Зона магистральной сети оканчивается ОПШ или муфтой со сплиттерами. Зона действия оконечного устройства магистральной сети обычно включает территорию, на которой расположены 600-1500 квартир в случае многоэтажной застройки или 400-600 домов частной застройки.

Приложение Д

Двухкаскадная схема включения сплиттеров с суммарным коэффициентом ветвления 1:32

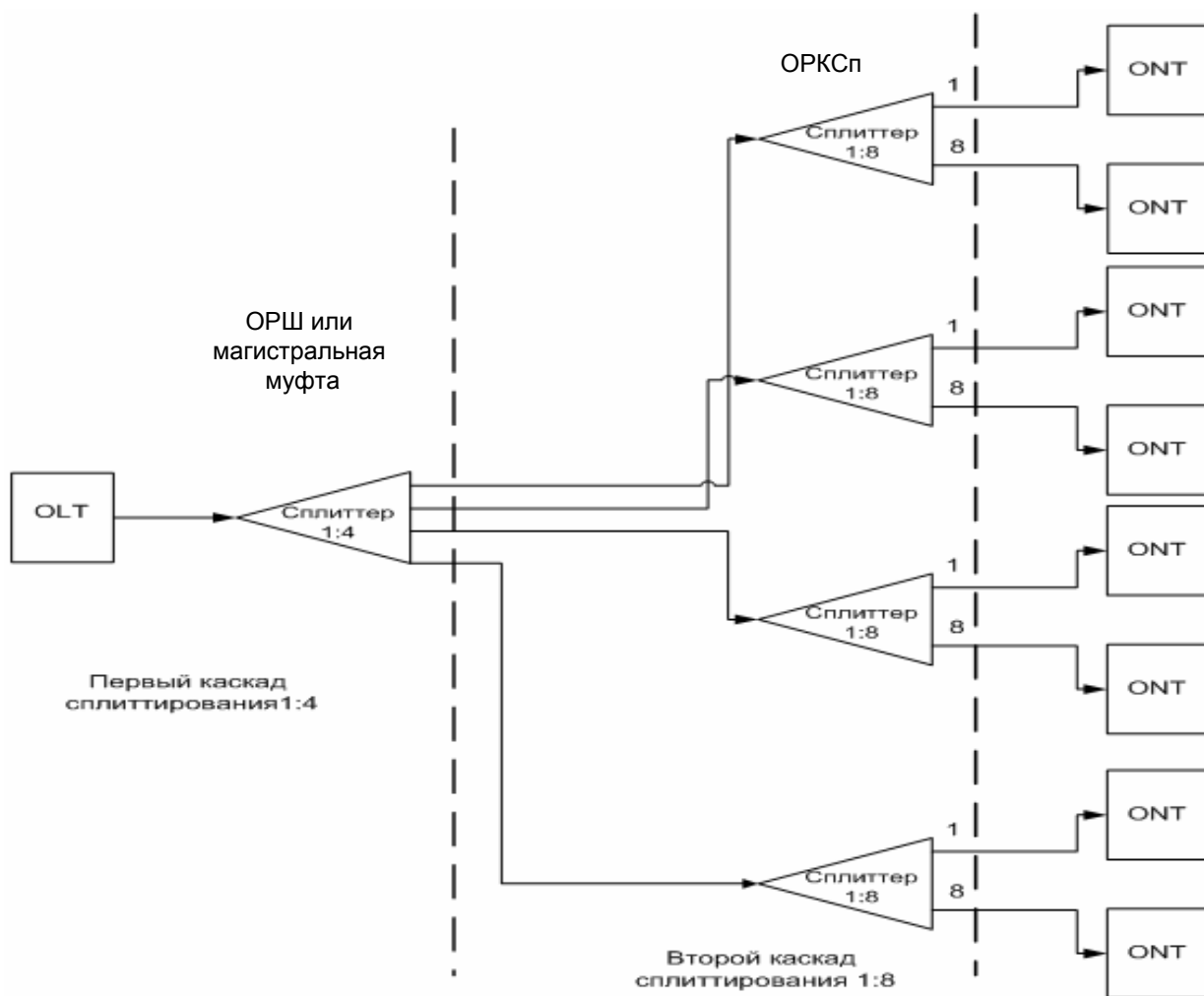
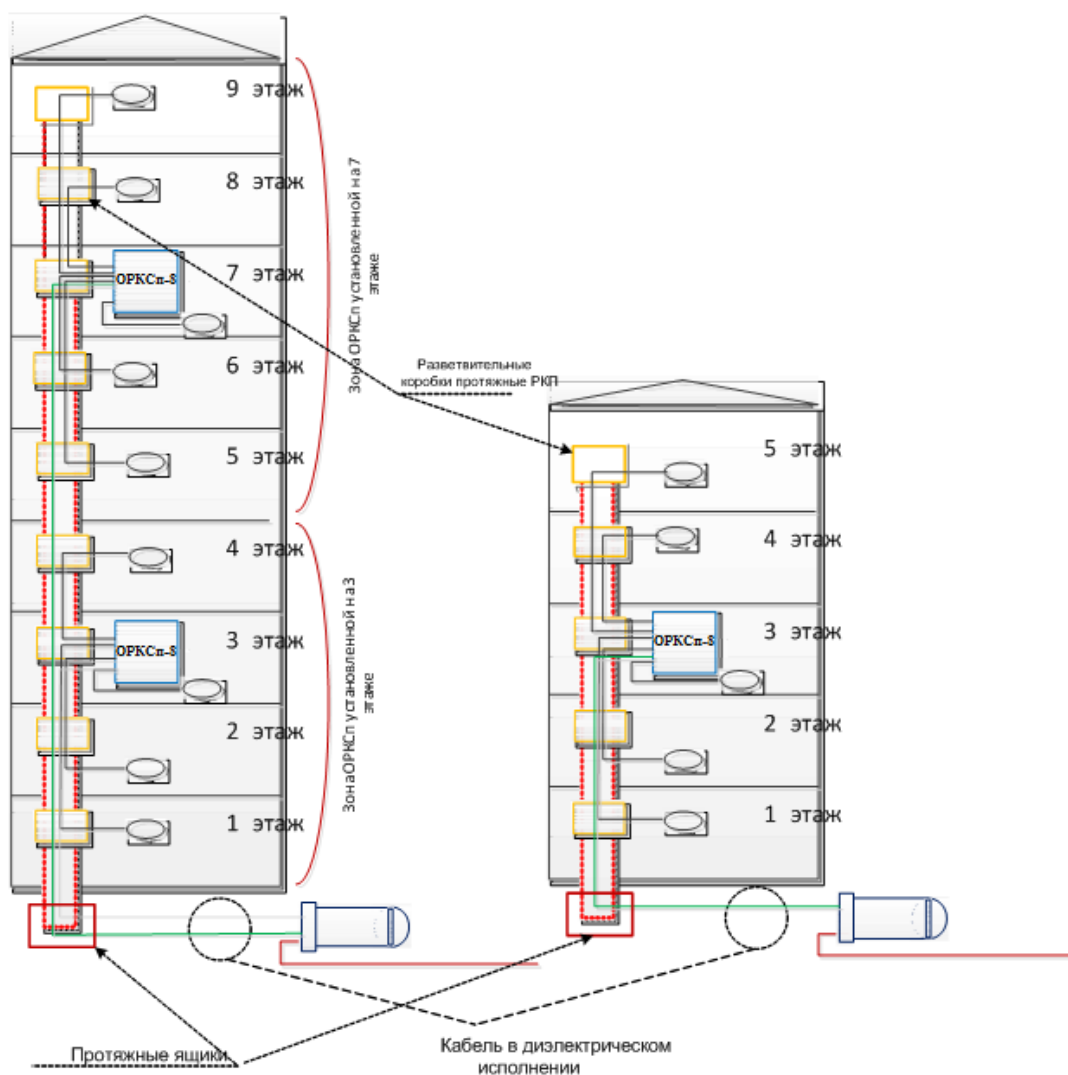


Рисунок Д1 - Схема включения сплиттеров с коэффициентами ветвления на 1 этапе 1:4 и 1:8

Рекомендуется применять ОР, учитывая требования к полосе пропускания для любого из абонентов, с коэффициентом ветвления 1:32, поскольку сплиттер 1:64 вносит высокие потери. На первом каскаде включаются сплиттеры с коэффициентом ветвления 1:4. Сплиттеры первого каскада устанавливаются в ОРШ или в оптических муфтах. На втором каскаде включаются сплиттеры с коэффициентом ветвления 1:8. Сплиттеры второго каскада устанавливаются на ОРКСп. Результирующий коэффициент ветвления составляет 1:32.

Приложение Е

Проектирование распределительного участка сети микрорайона «Жансая» г. Тараз



Вариант-а).

Вариант-б).

а) внутриподъездная разводка для 9-этажного здания

б) внутриподъездная разводка для 5-этажного здания

Рисунок Е1 - Схема распределительной сети с использованием муфт

Распределительные коробки (ОРКСп) необходимо устанавливать на средних этажах, не на крайних. Вариант а) предполагает установку на третьем, седьмом этажах девятиэтажного здания ОРКСп-8, а на каждом этаже РКП для ввода абонентских ВОК и выкладки их запаса. Вариант б) предполагает установку на третьем этаже пятиэтажного здания ОРКСп-8, а на каждом этаже РКП для ввода абонентских ВОК и выкладки их запаса.

Приложение Ж

Устройство распределительной оптической сети на этажной и межэтажной площадках в подъезде жилого дома

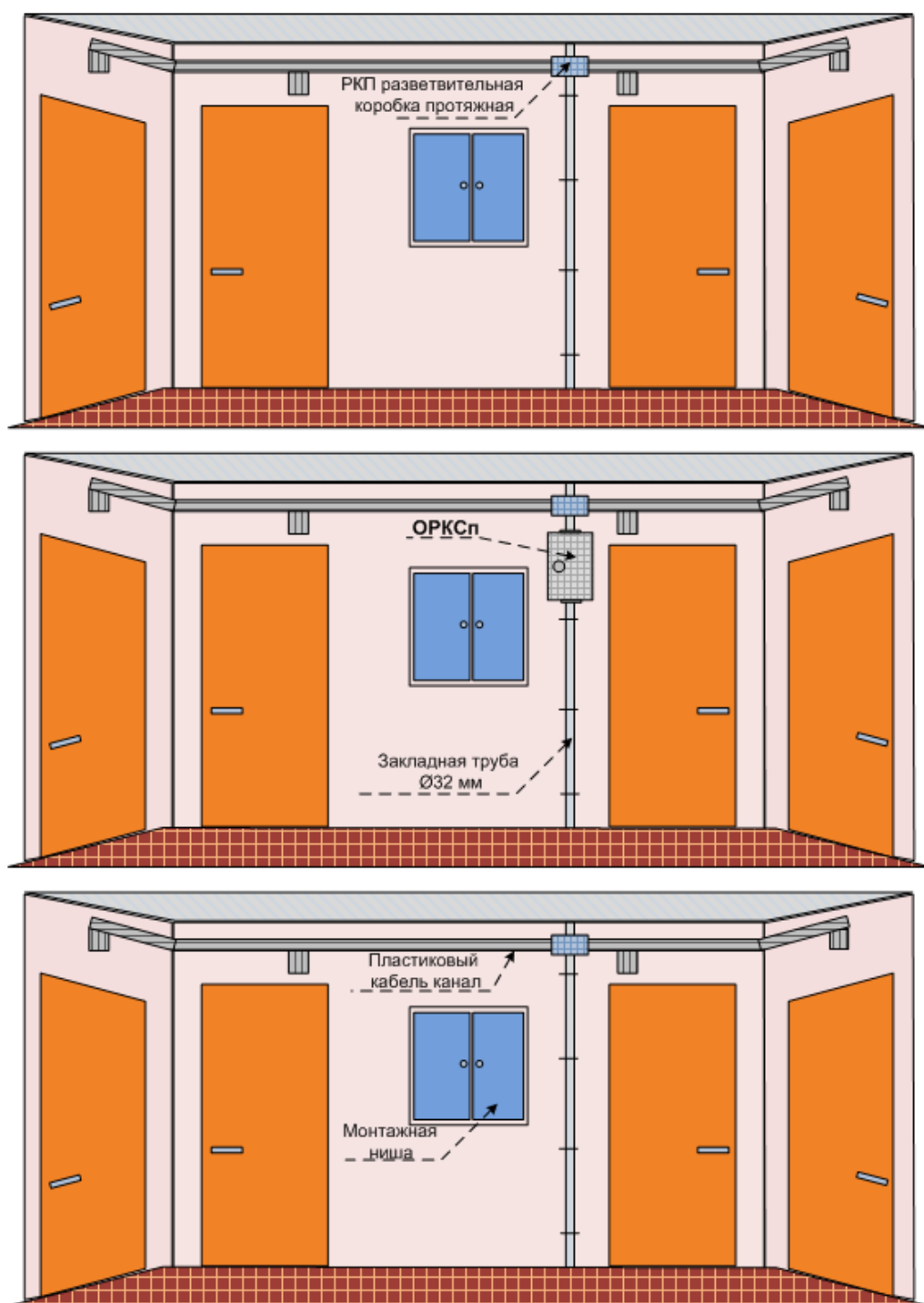


Рисунок Ж1 – Схема типового устройства закладного трубопровода и кабель каналов в подъезде дома

Приложение И

Приложение К
Технические характеристики абонентского терминала GPON ONT В-
FOCUS O-4G2PW/ O-4F2PW

Приложение Л
Проектируемый район-кластер «Жансая»

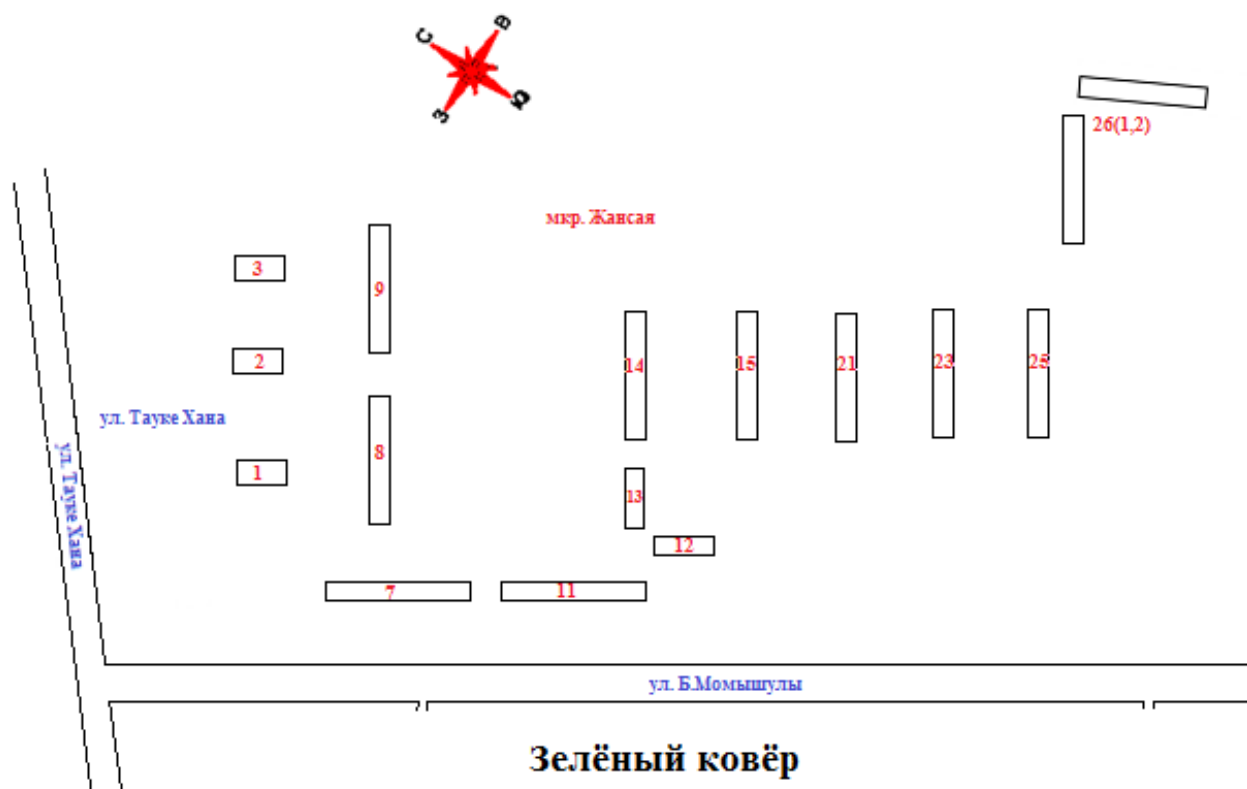


Рисунок Л1 - Схема расположения домов проектируемой сети GPON



Рисунок Л2 - Снимок со спутника

Приложение Н
Листинг программы «Mathcad»

Mathcad - [расчёт Алина]

Файл Правка Вид Добавить Формат Инструменты Символика Окно Справка

Normal Arial

Мой сайт Go

Греческая

α β γ δ ε ζ
η θ ι κ λ μ
ν ξ ο π ρ σ
τ υ φ χ ψ ω
Α Β Γ Δ Ε Ζ
Η Θ Ι Κ Λ Μ
Ν Ξ Ο Π Ρ Σ
Τ Υ Φ Χ Ψ Ω

Калькулятор

sin cos tan ln log
n! i |x| ∫ ∇
e^x 1/x () ×^y
π 7 8 9 /
1/4 4 5 6 ×
÷ 1 2 3 +
:= . 0 - =

Расчёт основных параметров ОВ G.652.D

Исходные данные: $d := 9 \cdot 10^{-6}$ $D := 125 \cdot 10^{-6}$ $\lambda_0 := 3 \cdot 10^8$ $P_{\text{nm}} := 2.405$

$\beta := 8.1 \cdot 10^{-11}$ $k := 1.38 \cdot 10^{-23}$ $T_w := 1500$ $C_w := 0.6 \cdot 10^{-24}$ $R_w := 30 \cdot 10^{-3}$

$\Delta\lambda := 0.1$ $L1 := 20$ $L_w := 3.317$ $Z0 := 376.7$

$M := \begin{pmatrix} -5 \cdot 10^{-12} \\ -18 \cdot 10^{-12} \end{pmatrix}$ $B := \begin{pmatrix} 8 \cdot 10^{-12} \\ 12 \cdot 10^{-12} \end{pmatrix}$ $\lambda := \begin{pmatrix} 1.31 \cdot 10^{-6} \\ 1.55 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix}$

$n1 := \begin{pmatrix} 1.4677 \\ 1.4692 \end{pmatrix}$ $n2 := 1.463$

Инженерный расчёт: $\Delta := \frac{n1 - n2}{n1} = \begin{pmatrix} 3.202 \cdot 10^{-3} \\ 3.542 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix}$

$NA := \sqrt{n1^2 - n2^2} = \begin{pmatrix} 0.117 \\ 0.123 \end{pmatrix}$ $\eta := NA^2 = \begin{pmatrix} 0.014 \\ 0.015 \end{pmatrix}$ $\theta := \arcsin(NA) = \begin{pmatrix} 0.118 \\ 0.124 \end{pmatrix}$

$\theta1 := \frac{\theta}{\text{deg}} = \begin{pmatrix} 6.74 \\ 7.092 \end{pmatrix}$ $v := \frac{\pi \cdot d \cdot NA}{\lambda} = \begin{pmatrix} 2.533 \\ 2.252 \end{pmatrix}$ $\text{fnp} := \frac{P_{\text{nm}} \cdot c}{\pi \cdot d \cdot NA} = \begin{pmatrix} 2.174 \cdot 10^{14} \\ 2.067 \cdot 10^{14} \end{pmatrix}$

$\lambda_{\text{кр}} := \frac{\pi \cdot d \cdot NA}{P_{\text{nm}} \cdot n1} = \begin{pmatrix} 9.401 \cdot 10^{-7} \\ 9.886 \cdot 10^{-7} \end{pmatrix}$ $\lambda_{\text{отс}} := \pi \cdot d \cdot \frac{NA}{2.405} = \begin{pmatrix} 1.38 \cdot 10^{-6} \\ 1.451 \cdot 10^{-6} \end{pmatrix}$

$\omega := d \cdot \left(0.65 + 1.62 \cdot v^{-2} + 2.879 \cdot v^{-6} \right) = \begin{pmatrix} 9.564 \cdot 10^{-6} \\ 1.036 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix}$ $A\omega\phi := \frac{\pi \cdot \omega^2}{4} = \begin{pmatrix} 7.185 \cdot 10^{-11} \\ 8.434 \cdot 10^{-11} \end{pmatrix}$

Расчёт затухания в ОВ:

$a := 4.34 \cdot \frac{(8\pi)^3}{3 \cdot \lambda^4} = \begin{pmatrix} 1.218 \cdot 10^{26} \\ 6.217 \cdot 10^{25} \end{pmatrix}$ $b := (n1^2 - 1) = \begin{pmatrix} 1.154 \\ 1.156 \end{pmatrix}$

$j1 := 1.218 \cdot 10^{26} \cdot 1.154 = 1.406 \cdot 10^{26}$ $k1 := j1 \cdot \beta \cdot k \cdot T = 2.357 \cdot 10^{-4}$

$j2 := 6.217 \cdot 10^{25} \cdot 1.156 = 7.187 \cdot 10^{25}$ $k2 := j2 \cdot \beta \cdot k \cdot T = 1.205 \cdot 10^{-4}$

$\alpha_{\text{расс}} := 4.34 \cdot \frac{(8\pi)^3}{3 \cdot \lambda^4} \cdot (n1^2 - 1) \cdot \beta \cdot k \cdot T \cdot 10^3$ $\alpha_{\text{расс}} := \begin{pmatrix} k1 \\ k2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.357 \cdot 10^{-4} \\ 1.205 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix}$

или $\alpha_{\text{расс1}} := C \cdot \frac{n1^2 - 1}{\lambda^4} = \begin{pmatrix} 0.235 \\ 0.12 \end{pmatrix}$

$\lambda1 := \begin{pmatrix} 1.31 \\ 1.55 \end{pmatrix}$ (мкм)

$\alpha_{\text{уф}} := \frac{10 \cdot \lambda1}{2154} = \begin{pmatrix} 0.016 \\ 9.059 \cdot 10^{-3} \end{pmatrix}$ $\alpha_{\text{ск}} := 10 \cdot \frac{-21.9}{\lambda1} + 12.4 = \begin{pmatrix} 4.813 \cdot 10^{-5} \\ 0.019 \end{pmatrix}$

$\alpha E := \alpha_{\text{расс}} + \alpha_{\text{уф}} + \alpha_{\text{ск}} = \begin{pmatrix} 0.016 \\ 0.028 \end{pmatrix}$

Собственные потери: $\alpha := \alpha E + \alpha E \cdot 0.2 = \begin{pmatrix} 0.019 \\ 0.033 \end{pmatrix}$

Другой способ расчёта

$\alpha_{\text{расс}} := \begin{pmatrix} k1 \\ k2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.357 \cdot 10^{-4} \\ 1.205 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix}$ или $\alpha_{\text{расс1}} := C \cdot \frac{n1^2 - 1}{\lambda^4} = \begin{pmatrix} 0.235 \\ 0.12 \end{pmatrix}$

$\alpha_{\text{оп}} := 8.69 \cdot \frac{\pi \cdot n1 \cdot 10^{-12}}{\lambda} = \begin{pmatrix} 3.059 \cdot 10^{-5} \\ 2.586 \cdot 10^{-5} \end{pmatrix}$

$\alpha E1 := \alpha_{\text{расс}} + \alpha_{\text{оп}} = \begin{pmatrix} 2.663 \cdot 10^{-4} \\ 1.464 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix}$

Собственные потери:

$\alpha1 := \alpha E1 + \alpha E1 \cdot 0.2 = \begin{pmatrix} 3.195 \cdot 10^{-4} \\ 1.756 \cdot 10^{-4} \end{pmatrix}$

Определение затухания, обусловленного микро и макроизгибами:

$1 - \frac{d \cdot n1^2}{R \cdot NA^2} = \begin{pmatrix} 0.953 \\ 0.958 \end{pmatrix}$ $z1 := 0.953$ $z2 := 0.958$

$\alpha_{\text{макр}} := -10 \cdot \log \left(1 - \frac{d \cdot n1^2}{R \cdot NA^2} \right)$ $\alpha_{\text{макр1}} := -10 \cdot \log(z1) = 0.209$ $\alpha_{\text{макр2}} := -10 \cdot \log(z2) = 0.186$

$\alpha_{\text{пот}} := 4.34 \cdot 0.08^2 = 0.028$

Затухание на макро и микроизгибах: $\alpha3 := \begin{pmatrix} \alpha_{\text{макр1}} + \alpha_{\text{пот}} \\ \alpha_{\text{макр2}} + \alpha_{\text{пот}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.237 \\ 0.214 \end{pmatrix}$

Расчёт дисперсии:

$\tau M := \Delta\lambda \cdot M = \begin{pmatrix} -5 \cdot 10^{-13} \\ -1.8 \cdot 10^{-12} \end{pmatrix}$ $\tau B := \Delta\lambda \cdot B = \begin{pmatrix} 8 \cdot 10^{-13} \\ 1.2 \cdot 10^{-12} \end{pmatrix}$

$\tau := \tau M + \tau B = \begin{pmatrix} 3 \cdot 10^{-13} \\ -6 \cdot 10^{-13} \end{pmatrix}$ $\tau1 := 3 \cdot 10^{-13}$ $\tau2 := -6 \cdot 10^{-13}$

$\Delta F1 := \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{|\tau1|} \\ \frac{1}{|\tau2|} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 3.333 \cdot 10^{12} \\ 1.667 \cdot 10^{12} \end{pmatrix}$

$\Delta F := \frac{\Delta F1}{L1} = \begin{pmatrix} 1.667 \cdot 10^{11} \\ 8.333 \cdot 10^{10} \end{pmatrix}$ $\Delta F := \frac{\Delta F1}{L} = \begin{pmatrix} 1.005 \cdot 10^{12} \\ 5.025 \cdot 10^{11} \end{pmatrix}$

Расчёт дисперсии по алгоритму Гроднева:

$\underline{D}_w := M + B = \begin{pmatrix} 3 \cdot 10^{-12} \\ -6 \cdot 10^{-12} \end{pmatrix}$

$\tau M := \Delta\lambda \cdot M \cdot L = \begin{pmatrix} -1.659 \cdot 10^{-12} \\ -5.971 \cdot 10^{-12} \end{pmatrix}$ $\tau B := \Delta\lambda \cdot B \cdot L = \begin{pmatrix} 2.654 \cdot 10^{-12} \\ 3.98 \cdot 10^{-12} \end{pmatrix}$

$\tau S := \tau M + \tau B = \begin{pmatrix} 9.951 \cdot 10^{-13} \\ -1.99 \cdot 10^{-12} \end{pmatrix}$ $\tau S1 := 9.951 \cdot 10^{-13}$ $\tau S2 := -1.99 \cdot 10^{-12}$

$\Delta FS := \begin{pmatrix} 1 \\ \frac{1}{|\tau S1|} \\ \frac{1}{|\tau S2|} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.005 \cdot 10^{12} \\ 5.025 \cdot 10^{11} \end{pmatrix}$

$\frac{c}{n1} = \begin{pmatrix} 2.044 \cdot 10^8 \\ 2.043 \cdot 10^8 \end{pmatrix}$ $\frac{c}{n2} = 2.051 \cdot 10^8$ $\begin{pmatrix} 2.044 \cdot 10^8 \\ 2.043 \cdot 10^8 \end{pmatrix} < v < 2.051 \cdot 10^8$

$\frac{Z0}{n1} = \begin{pmatrix} 256.66 \\ 256.573 \end{pmatrix}$ $\frac{Z0}{n2} = 257.485$ $\begin{pmatrix} 256.66 \\ 256.573 \end{pmatrix} < Z < 257.485$

Рисунок Н1 – Расчёт параметров оптоволокна G.652.D
Продолжение приложения Н

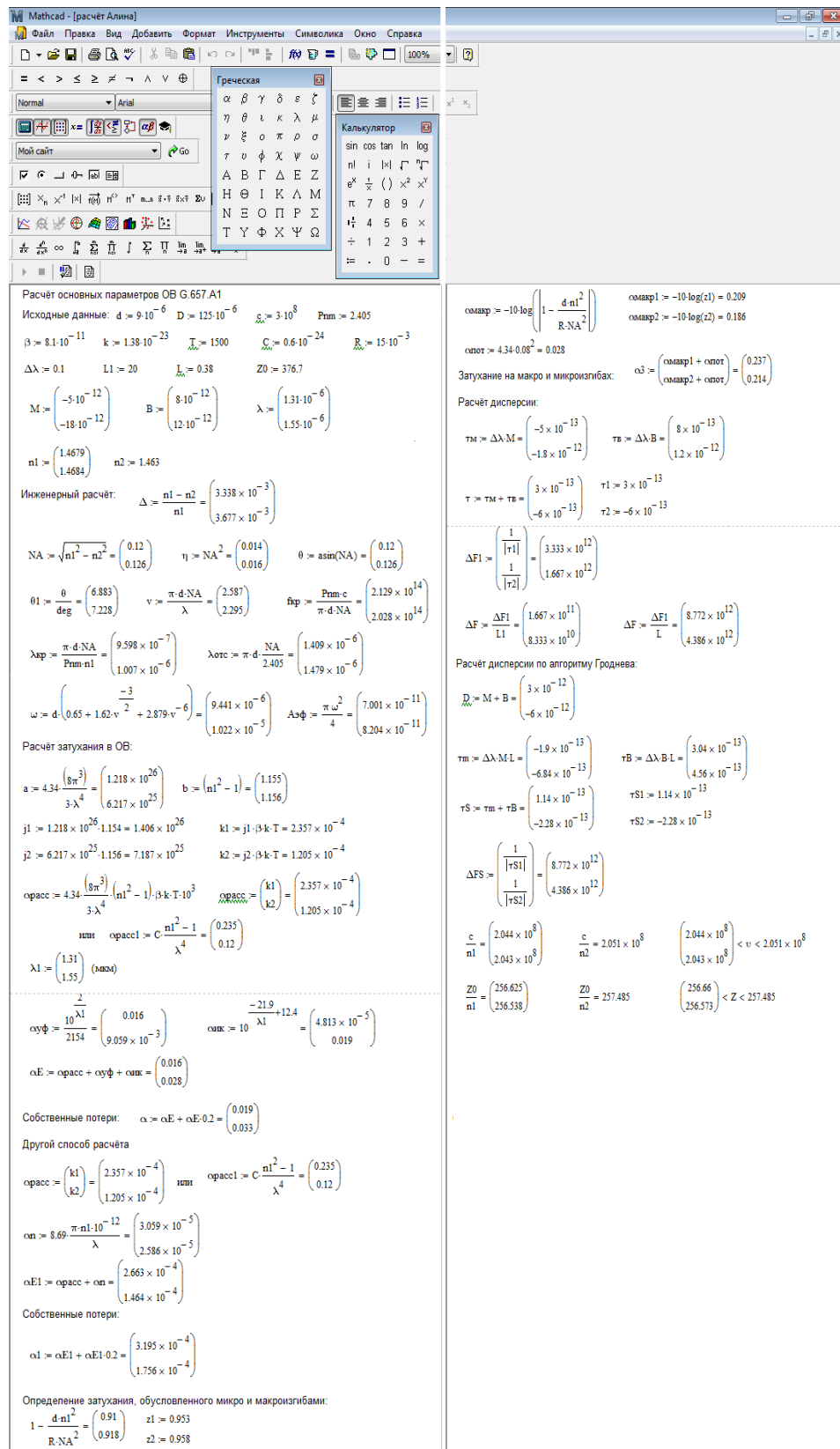


Рисунок Н2 – Расчёт параметров оптоволокон G.657.A1

Приложение П Внешний вид программы Borland Delphi 7.0

Альбекова А.Р. Группа СТК-10-5. Алматы, АУЭС, 2014 г.

Введите данные:

Число обычных пользователей Интернета (услуга iD Net): $N_I =$ человек

Число абонентов Triple Play (iD Net+iD TV+iD Phone, iD Net+iD TV, iD Net+iD Phone): $N_{II} =$ человек

Число каналов вещания, организуемых в мультисервисной сети GPON: $K_{TV} =$ каналов

Максимальное число абонентов на ветке GPON (на одном порте OLT Hi-Focus 5 F-152 -HB): $M =$ **64 человека**

Доля обычных пользователей Интернета (потребителей услуги iD Net): $\pi_I =$ %

Доля абонентов Triple Play (пакеты iD Net+iD TV+iD Phone, iD Net+iD TV, iD Net+iD Phone): $\pi_{II} =$ %

Расчёт необходимой полосы пропускания

Требуемая полоса пропускания для обычных пользователей Интернета: $V_I =$ Мбит/с

Требуемая полоса пропускания для абонентов услуг Triple Play: $V_{II} =$ Мбит/с

Суммарная полоса пропускания для одного порта OLT Hi-Focus 5 F-152 -HB: $V_E =$ Мбит/с

Расчёт реальной нагрузки, создаваемой абонентами сети доступа GPON в ЧНН

Количество пакетов, генерируемых абонентами IP телефонии (услуга iD Phone): $N_{VOIP} =$ пакет/час

Количество пакетов, переданных обычными пользователями Интернета: $N_{Ind} =$ пакет/час

Количество интернет-пакетов, переданных абонентами Triple Play: $N_{IndII} =$ пакет/час

Количество пакетов, генерируемых каналами вещания: $N_{SU/TV} =$ пакет/час

Количество пакетов, генерируемых пользователями VOD: $N_{VOD} =$ пакет/час

Суммарное число пакетов, генерируемых абонентами на ветке GPON в ЧНН: $N_E =$ пакет/час

Среднее число пакетов в секунду в ЧНН: $N_{E\text{ сек}} =$ пакет/с

Реальная нагрузка, создаваемая абонентами одного порта OLT в ЧНН: $N_{E\text{ сек}} =$ Мбит/с

Рисунок П1 - Рабочее окно программы до ввода данных

Альбекова А.Р. Группа СТК-10-5. Алматы, АУЭС, 2014 г.

Введите данные:

Число обычных пользователей Интернета (услуга iD Net): $N_I =$ **48** человек

Число абонентов Triple Play (iD Net+iD TV+iD Phone, iD Net+iD TV, iD Net+iD Phone): $N_{II} =$ **16** человек

Число каналов вещания, организуемых в мультисервисной сети GPON: $K_{TV} =$ **40** каналов

Максимальное число абонентов на ветке GPON (на одном порте OLT Hi-Focus 5 F-152 -HB): $M =$ **64 человека**

Доля обычных пользователей Интернета (потребителей услуги iD Net): $\pi_I =$ **75** %

Доля абонентов Triple Play (пакеты iD Net+iD TV+iD Phone, iD Net+iD TV, iD Net+iD Phone): $\pi_{II} =$ **25** %

Расчёт необходимой полосы пропускания

Требуемая полоса пропускания для обычных пользователей Интернета: $V_I =$ **192** Мбит/с

Требуемая полоса пропускания для абонентов услуг Triple Play: $V_{II} =$ **257** Мбит/с

Суммарная полоса пропускания для одного порта OLT Hi-Focus 5 F-152 -HB: $V_E =$ **449** Мбит/с

Расчёт реальной нагрузки, создаваемой абонентами сети доступа GPON в ЧНН

Количество пакетов, генерируемых абонентами IP телефонии (услуга iD Phone): $N_{VOIP} =$ **480000** пакет/час

Количество пакетов, переданных обычными пользователями Интернета: $N_{Ind} =$ **25165824** пакет/час

Количество интернет-пакетов, переданных абонентами Triple Play: $N_{IndII} =$ **8388608** пакет/час

Количество пакетов, генерируемых каналами вещания: $N_{SU/TV} =$ **450000000** пакет/час

Количество пакетов, генерируемых пользователями VOD: $N_{VOD} =$ **180000000** пакет/час

Суммарное число пакетов, генерируемых абонентами на ветке GPON в ЧНН: $N_E =$ **664034432** пакет/час

Среднее число пакетов в секунду в ЧНН: $N_{E\text{ сек}} =$ **184454,008888889** пакет/с

Реальная нагрузка, создаваемая абонентами одного порта OLT в ЧНН: $N_{E\text{ сек}} =$ **295,126414222222** Мбит/с

Рисунок П2 - Рабочее окно программы после ввода данных

Приложение Р

Листинг программы Borland Delphi 7.0 «Расчёт необходимой полосы пропускания и реальной нагрузки, создаваемой абонентами сети доступа

GPON В ЧИИ»

unit Unit1;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
Dialogs, StdCtrls, Math, ExtCtrls;

type

TForm1 = class(TForm)

Label1: TLabel;	Label24: TLabel;	Label40: TLabel;
Label2: TLabel;	Label25: TLabel;	Label41: TLabel;
Label3: TLabel;	Label26: TLabel;	Label48: TLabel;
Label4: TLabel;	Label27: TLabel;	Label49: TLabel;
Label5: TLabel;	Label28: TLabel;	Label50: TLabel;
Label7: TLabel;	Label30: TLabel;	Label51: TLabel;
Label6: TLabel;	Label29: TLabel;	Label52: TLabel;
Label9: TLabel;	Label31: TLabel;	Label53: TLabel;
Label10: TLabel;	Label32: TLabel;	Label54: TLabel;
Label8: TLabel;	Label33: TLabel;	Label55: TLabel;
Label12: TLabel;	Label34: TLabel;	Label56: TLabel;
Label13: TLabel;	Label35: TLabel;	Label57: TLabel;
Label14: TLabel;	Label36: TLabel;	Label58: TLabel;
Label15: TLabel;	Label37: TLabel;	Label59: TLabel;
Label16: TLabel;	Label38: TLabel;	Label63: TLabel;
Label17: TLabel;	Label39: TLabel;	Label64: TLabel;
Label18: TLabel;	Label42: TLabel;	Label65: TLabel;
Label19: TLabel;	Label43: TLabel;	Label66: TLabel;
Label20: TLabel;	Label44: TLabel;	Label67: TLabel;
Label21: TLabel;	Label45: TLabel;	Label68: TLabel;
Label22: TLabel;	Label46: TLabel;	Label69: TLabel;
Label23: TLabel;	Label47: TLabel;	Label70: TLabel;

Edit1: TEdit;
Edit2: TEdit;
Edit3: TEdit;
Edit4: TEdit;
Edit5: TEdit;
Edit6: TEdit;
Edit7: TEdit;
Edit8: TEdit;
Edit9: TEdit;
Edit10: TEdit;
Edit11: TEdit;

Продолжение приложения Р

Edit12: TEdit;
Edit13: TEdit;

```

Edit14: TEdit;
Edit15: TEdit;
Edit16: TEdit;
Label60: TLabel;
Label61: TLabel;
Label62: TLabel;
Label71: TLabel;
Label72: TLabel;
Button1: TButton;
Button2: TButton;
Button3: TButton;
Label73: TLabel;
Label74: TLabel;
Shape1: TShape;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Edit1KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure Edit2KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
procedure Edit11KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  Form1: TForm1;

implementation

{$R *.dfm}

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
var
  N1, N2, p1, p2, v1, v2, ve, Nvoip, Ni1, Ni2, Ktv, Nsdtv, Nvod, Ne, Nes, Nesm: string;
  NIInt, NIIInt, p1Int, p2Int, vIInt, vIIInt, veInt, NvoipInt, Ni1Int, Ni2Int, KtvInt, NsdtvInt,
  NvodInt, NeInt, NesInt, NesmInt: extended;
begin
  if (Edit1.Text='') then begin
    Label73.visible:=true;
    Label73.Caption:='ЗАПОЛНИТЕ ПОЖАЛУЙСТА ВСЕ ПОЛЯ';
    Edit1.Text:=''; exit; end;
  if (Edit2.Text='') then begin
    Label73.visible:=true;
    Label73.Caption:='ЗАПОЛНИТЕ ПОЖАЛУЙСТА ВСЕ ПОЛЯ';

```

Продолжение приложения Р

```

Edit2.Text:=''; exit; end;
if (Edit11.Text='') or (Edit11.Text='0') then begin

```

```

Label73.visible:=true;
Label73.Caption:='ЗАПОЛНИТЕ ПОЖАЛУЙСТА ВСЕ ПОЛЯ';
Edit11.Text:=''; exit; end;
//Считываем из полей введенные данные как строковое значение
N1:= Edit1.Text;
N2:= Edit2.Text;
Ktv:= Edit11.Text;
//Преобразуем символьные значения в целочисленные
NIInt:= StrToInt(N1);
NIIInt:= StrToInt(N2);
KtvInt:= StrToInt(Ktv);
if (NIInt>64)then begin
Label73.visible:=true;
Label73.Caption:='На один порт OLT приходится не более 64 абонентов!!!';
Edit1.Text:=''; exit; end;
if (NIIInt>64)then begin
Label73.visible:=true;
Label73.Caption:='На один порт OLT приходится не более 64 абонентов!!!';
Edit2.Text:=''; exit; end;
if (NIInt+NIIInt>64)then begin
Label73.visible:=true;
Label73.Caption:='На один порт OLT приходится не более 64 абонентов!!!';
Edit1.Text:='';Edit2.Text:=''; exit;end;
//Вычисляем долю обычных пользователей Интернет по формуле
p1Int:= NIInt * 100/64;
//Вычисляем долю абонентов Triple Play по формуле
p2Int:= NIIInt * 100/64;
//Вычисляем полосу пропускания для обычных пользователей Интернет по формуле
vInt:= NIInt * 4;
//Вычисляем полосу пропускания для абонентов Triple Play по формуле
vIIInt:= (NIIInt * 6.0625)+160;
//Вычисляем суммарную полосу пропускания по формуле
veInt:= vInt+vIIInt;
//Вычисляем число пакетов, генерируемых абонентами IP телефонии, по формуле
NvoipInt:= 50*120*5*64*p2Int/100;
//Вычисляем число пакетов, переданных обычными пользователями Интернет, по формуле
Ni1Int:= 104857600*NIInt/200;
//Вычисляем число пакетов, переданных пользователями Интернет из числа абонентов Triple Play, по формуле
Ni2Int:= 104857600*NIIInt/200;
//Вычисляем число пакетов, генерируемых каналами вещания, по формуле
NsdtvInt:= 3125*60*60*KtvInt;
//Вычисляем количество пакетов, генерируемых пользователями VOD, по формуле
NvodInt:= 3125*60*60*64*p2Int/100;

```

Продолжение приложения Р

```

//Вычисляем суммарное число пакетов, генерируемых абонентами на ветке GPON, по формуле

```

```

NeInt:= NvoipInt+Ni1Int+Ni2Int+NsdvtInt+NvodInt;
//Вычисляем среднее число пакетов в секунду в ЧНН по формуле
NesInt:= NeInt/3600;
//Вычисляем реальную нагрузку, создаваемую абонентами одного порта OLT формуле
NesmInt:= NesInt*1600/1000000;
//Полученное числовое значение преобразуем в символьное
p1:=floattostr(p1Int);
p2:=floattostr(p2Int);
v1:=floattostr(vIInt);
v2:=floattostr(vIIInt);
ve:=floattostr(veInt);
Nvoip:=floattostr(NvoipInt);
Ni1:=floattostr(Ni1Int);
Ni2:=floattostr(Ni2Int);
Nsdvt:=floattostr(NsdvtInt);
Nvod:=floattostr(NvodInt);
Ne:=floattostr(NeInt);
Nes:=floattostr(NesInt);
Nesm:=floattostr(NesmInt);
//Символьное значение выводим в поля
Edit3.Text:= p1;
Edit4.Text:= p2;
Edit5.Text:= v1;
Edit6.Text:= v2;
Edit7.Text:= ve;
Edit8.Text:= Nvoip;
Edit9.Text:= Ni1;
Edit10.Text:= Ni2;
Edit12.Text:= Nsdvt;
Edit13.Text:= Nvod;
Edit14.Text:= Ne;
Edit15.Text:= Nes;
Edit16.Text:= Nesm;
end;

procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin
Form1.Close;
end;

procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin

Edit1.Text:="";
Edit2.Text:="";
Edit3.Text:="";

```

Продолжение приложения Р

```

Edit4.Text:="";
Edit5.Text:="";
Edit6.Text:="";

```



```

Edit7.Text:="";
Edit8.Text:="";
Edit9.Text:="";
Edit10.Text:="";
Edit11.Text:="";
Edit12.Text:="";
Edit13.Text:="";
Edit14.Text:="";
Edit15.Text:="";
Edit16.Text:="";
end;

procedure TForm1.Edit1KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);

begin

if (key in ['.','']) then key:=',';
if (key in ['a'..'z','A'..'Z','a'..'я','A'..'Я']) then if
    application.MessageBox('неверное значение','внимание',mb_ok
mb_iconexclamation)=idok then key:=#0;
end;

procedure TForm1.Edit2KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
if (key in ['.','']) then key:=',';
if (key in ['a'..'z','A'..'Z','a'..'я','A'..'Я']) then if
    application.MessageBox('неверное значение','внимание',mb_ok
mb_iconexclamation)=idok then key:=#0;
end;

procedure TForm1.Edit11KeyPress(Sender: TObject; var Key: Char);
begin
if (key in ['.','']) then key:=',';
if (key in ['a'..'z','A'..'Z','a'..'я','A'..'Я']) then if
    application.MessageBox('неверное значение','внимание',mb_ok
mb_iconexclamation)=idok then key:=#0;
end;
end.

```