



KAPITEL 2 / CHAPTER 2² PROBLEMS OF DESIGN AND OPTIMIZATION OF A COMPUTER NETWORK

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ КОМПЬЮТЕРНОЙ СЕТИ

DOI: 10.30890/2709-2313.2022-09-01-007

Введение

Всемирная сеть интернет – активно развивающаяся система в современном мире. Волоконная оптика обладает основными преимуществами перед электросвязью, такими как:

1. Информационная емкость. Полоса пропускания оптоволокна превышает все потребности сегодняшних сетевых применений. Оптоволоконный кабель 62.5/125 мкм, рекомендованный для использования в зданиях, имеет полосу пропускания 160 МГц км (при длине волны 850 нм) или 500 МГц×км (при 1300 нм). Полоса пропускания зависит от частоты и расстояния, поэтому при длине оптического кабеля 100 м ее ширина превышает 1 ГГц. (Для сравнения: медный кабель категории 5 при той же длине имеет полосу пропускания 100 МГц.). Ширина полосы пропускания у одномодового волокна может быть от 50 до 100 ГГц км. Существующие кабели имеют полосу пропускания в несколько гигагерц и позволяют передавать на расстояния в десятки и даже сотни километров [16 2].

2. Низкие потери. Благодаря малому затуханию можно работать на значительных расстояниях. В зависимости от типа волокна можно передавать информацию на расстояния от нескольких сотен метров до сотни километров. (Для медного кабеля это расстояние равно 100 м.) Принципиальный недостаток медного кабеля - потери растут с увеличением частоты сигнала. Иными словами, с увеличением скорости передачи данных растёт затухание и уменьшается расстояния. Оптоволокно не имеет этого недостатка.

3. Устойчивость к электромагнитным воздействиям. По некоторым оценкам, более 60% сбоев в сетях на основе медных кабелей связаны с их плотным расположением. Перекрестные искажения, рассогласование, электромагнитная восприимчивость являются основными источниками шума и сбоев в медных системах. Более того, эти проблемы усиливаются при неправильной установке кабельной системы, в особенности это касается систем

² Authors: Lvovich I.Ya., Lvovich Ya.E., Preobrazhensky A.P., Preobrazhensky Yu.P.



пятой категории. Оптоволоконно является диэлектриком и не подвержено электромагнитным воздействиям. Здесь невозможны перекрестные искажения. Оптоволоконно может быть использовано в условиях сильных электромагнитных полей. На него не влияют такие источники шума, как линии электропитания, люминесцентные лампы.

4. Небольшой вес. Оптоволоконный кабель легче медного. Двухжильный оптический кабель на 20-50% легче 4-парного кабеля категории 5. Меньший вес облегчает процесс установки.

5. Габариты. Оптоволоконный кабель занимает меньшее пространство. Оптическому кабелю от 2 жил до 8 нужно на 15% меньше места, чем кабелю 5-й категории.

6. Безопасность. Оптоволоконно не искрит. С точки зрения возгорания и выделения газа, оптоволоконные кабели и кабели витой пары имеют одинаковые параметры.

7. Секретность. К оптическим кабелям крайне сложно подключиться, и незамеченным такое подключение быть не может. А так как оптические кабели не излучают, перехват информации без подключения невозможен.

8. Экономичность. Оптический кабель по цене соответствует кабелю категории 5. Однако динамичное ежегодное падение цен на ОВ и большая скорость передачи по сравнению с УТР-5 даёт ему неоспоримое преимущество. Стоимость прокладки оптического и медного кабелей одинакова. Время оконцовки также почти одинаковое (система категории 5 требует большей осторожности и времени при установке). Оптоволоконные кабельные системы более просты в эксплуатации и более надежны. Затраты на восстановление системы, связанные со старением у оптических систем ниже, чем у медных. Оптическое волокно, также, как и любое другое техническое достижение обладает и недостатками, которые со временем сводятся к минимуму [3, 4].

9. Прочность. Современные оптические кабели имеют прочность на разрыв больше, чем медные такого же диаметра. Они легко изгибаются и противостоят коррозии. Оптоволоконные кабели могут выдерживать "тянущее" усилие в 6 раз большее, чем рекомендовано для кабеля категории 5. В действительности кабели категории 5 более хрупкие, чем оптические, если его не подвергать тугим стяжкам и острым сгибам. Такие изгибы могут снизить характеристики кабеля ниже требований категории 5.

Целью работы является анализ составляющих сети широкополосного



доступа.

2.1. Характеристика местности

Данный проект ориентирован на построение волоконно-оптической линии связи (в дальнейшем ВОЛС) в чертах коттеджного поселка «Цветочный». Коттеджный поселок «Цветочный» расположен к юго-западу от Москвы. Рельеф коттеджного поселка «Цветочный» преимущественно равнинный, по периметру его окружает смешанный лес, это определенно положительная черта местности, если прокладка волоконно-оптического кабеля (в дальнейшем ВОК) проводится подвесным способом, так как сильный ветер может повредить кабель и нанести урон несущим конструкциям. Среднегодовая скорость ветра (на высоте 10м) 1.3 м/с. Климат в регионе Москвы и Московской области – умеренно-континентальный. Абсолютная разность температур лета и зимы составляет 80,4 градусов Цельсия, что может повлиять на долговечность как подвесного ВОК, так и подземного. Так как диапазон рабочих температур ВОК составляет в среднем от -50 до +70 градусов Цельсия, в летнее время возможности монтажа кабельной системы и её долговечности температурные факторы не угрожают. Но при монтаже в зимний период нужно учитывать свойства изоляционного материала ВОК. Есть множество марок оптического кабеля, но по наружной оболочке все эти марки можно разделить на полиэтиленовые (ДПС, СПС, ДАС, САС), изолированные при помощи материала, не распространяющего горение (ДПН, СПН) и изолированные при помощи материала, не содержащего галогены (ДПГ, СПГ). [5]

Таблица 1 – Температурный диапазон монтажа и эксплуатации различных марок ВОК.

Параметр монтажа	Марка	
	ДПС, СПС, ДАС, САС	ДПН, СПН, ДПГ, СПГ
Диапазон температур	-60..+70	-40..+60
Низшая температура	-30	-10

Из таблицы 1 видно, что оптический кабель, изолированный при помощи



материала, не распространяющего горение (ДПН, СПН) или не содержащего галогены (ДПГ, СПГ) менее устойчив к перепаду температур и низшая температура монтажа составляет всего -10 градусов Цельсия, поэтому, если учесть средняя температура в зимний период в регионе Москвы и Московской области составляет -9.8 градусов Цельсия, то монтаж в зимний период вовсе не представляется возможным.

2.2. Выбор и характеристика топологии сети доступа

Задача проектирования GPON(Gigabit Passive Optic Network) 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 [7, 8]. 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 России нередко встречаются малочисленные населённые пункты: села, деревни, коттеджные поселки. 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 [9, 10].

Наиболее эффективный способ, - 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» 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 напрямиком 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 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 оптоволоконно. Из него растёт «ветвь» из 8 пользователей, прочие оптоволоконка 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 устанавливаются сплиттер 1x8 и подключают его с одной стороны к PON порту OLT, а с другой к многоволоконному кабелю. Топология такого типа имеет множество вариантов. 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 растущего дерева» заключается в применении четырех многоволоконных магистральных кабелей для построения сети, включающей 256 пользователей, что означает фактически пренебрежение концепцией экономии оптоволоконка 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» «мультидеревя» 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 определенное 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. 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. 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 коттеджный посёлок «Цветочный» описанный в данной работе.

Оптический бюджет GPON, выпускаемые промышленностью сплиттера 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».

2.3. Технология GPON

GPON - это широкополосные сети мультисервисного доступа, где по одному кабелю предоставляются услуги интернета, телефонии и телевидения с гарантированным качеством обслуживания.

2.3.1. Недостатки и преимущества GPON:

- Большие вложения капитала на начальном этапе;
- Сложность;
- Относительная дороговизна.

Недостатки GPON легко компенсируются её достоинствами.

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, отчетов 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.



2.3.2. Физический уровень GPON

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 22 передатчиком ONT, что также входит в функции PMD уровня.

2.3.3 Структура управления передачей данных

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 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 демупльтиплексирование, 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/VCI (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 23 выбирается при инсталляции системы. Тип трафика определяется сегментом GTC кадра (нисходящий поток) или Allocation ID (Alloc-ID) (восходящий поток). Если поток передается в виде GEM трафика, то его идентификация осуществляется по Port-ID в 12 бит, в случае ATM трафика - по VPI. ONT информируют об используемом протоколе сообщением серийного номера. Если OLT поддерживает хотя бы один протоколов, то он организует OMCI канал, в результате обнаруживается ONT. В противном случае передается информация о несовместимости ONT с данной системой. Структура уровней передачи данных показана на рисунке 1.

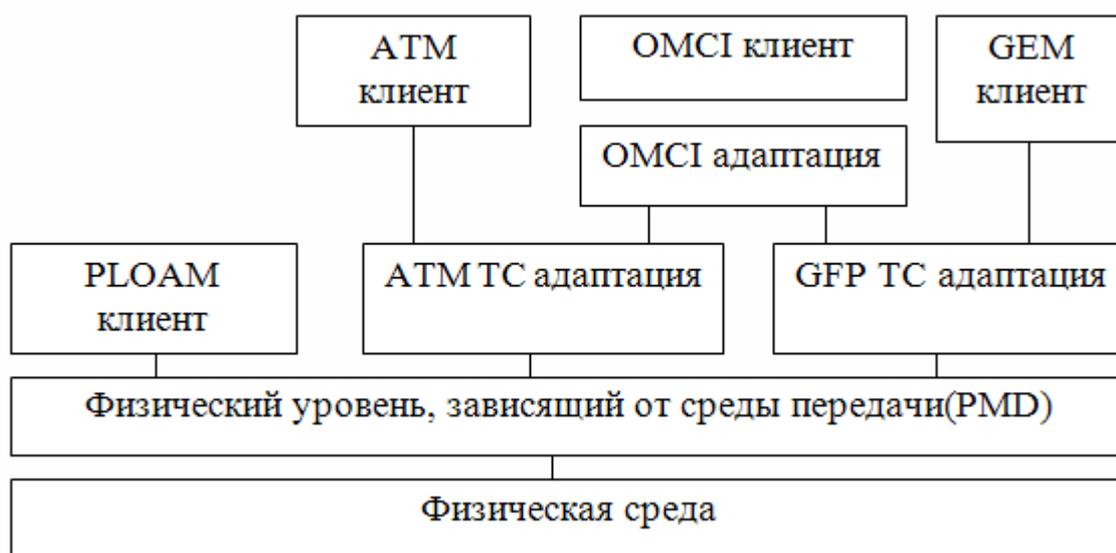


Рисунок 1 – Структура уровней GPON

2.3.4. 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. На рисунке 2 изображена схема восходящего потока GPON.

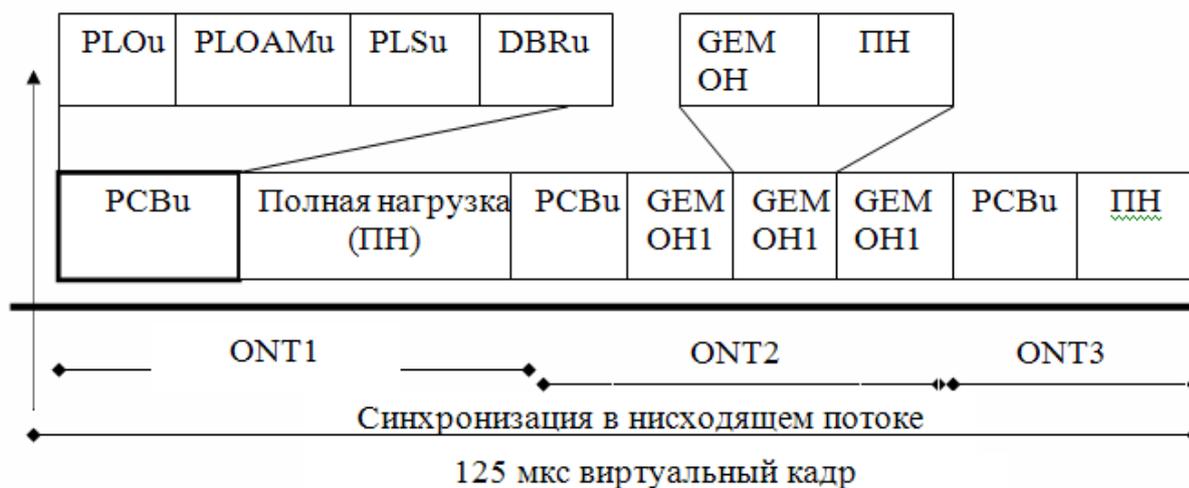


Рисунок 2 – Схема восходящего потока GPON

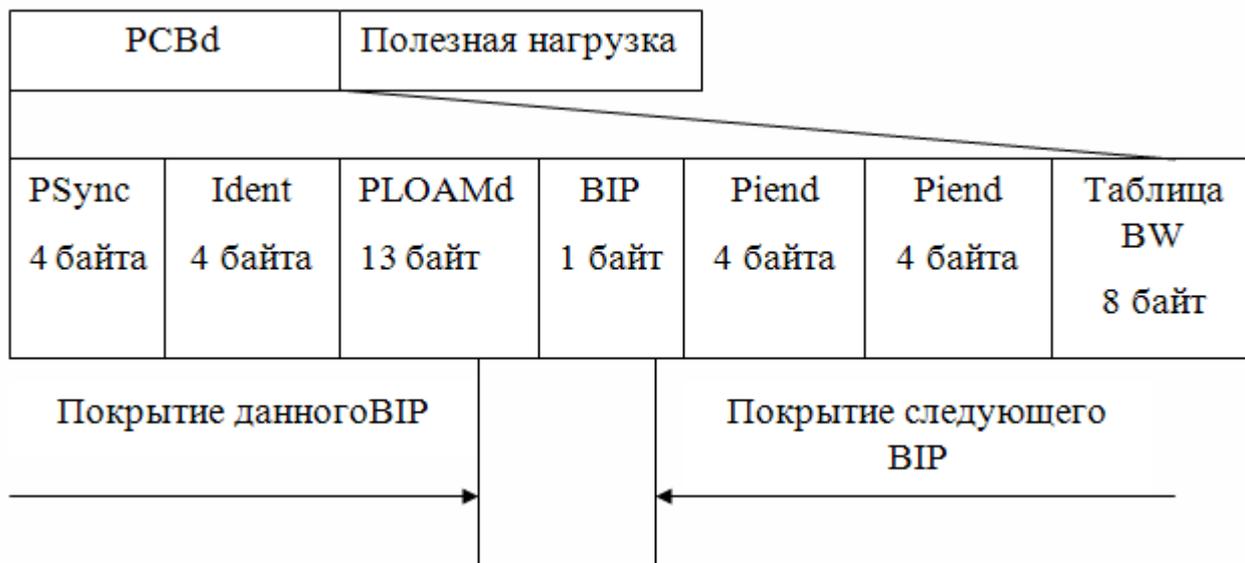


Рисунок 3 – Схема нисходящего потока GPON

Состав кадра нисходящего потока (см. рис. 3): 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.

Поле Ident, выполняющим роль счётчика сверхциклов, используемым в системе шифрования, обозначается следующая за началом кадра структура. Поле PLOAM транспортирует сообщение PLOAM. Поле VIP 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. 4), 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.

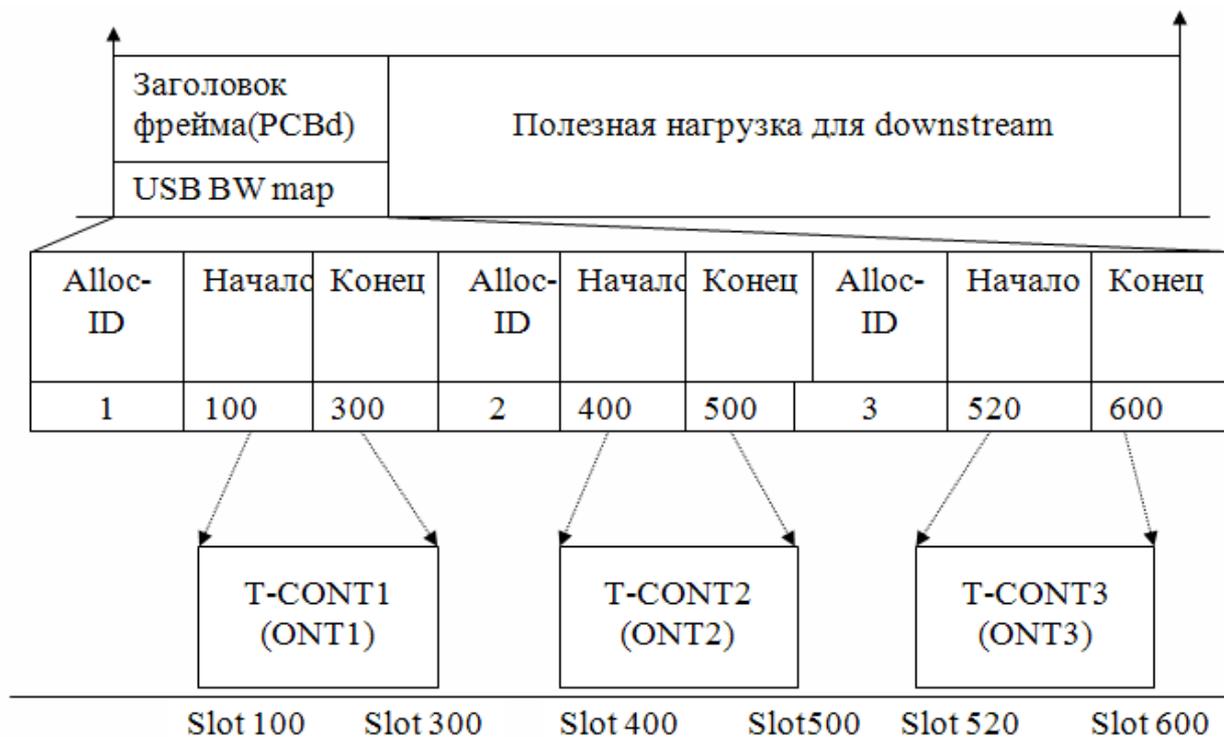


Рисунок 4 – Доступ к среде передачи данных

Рисунок 4 показывает, что каждому ONT соответствует только один TCONT, в котором имеется информация о том, когда, на какое количество времени среда передачи доступна ONT.

2.4. Разработка схемы и оптимизация маршрута магистрального участка сети

2.4.1. Особенности проектирования сети доступа

Построение сети GPON планируется для жителей коттеджного поселка «Цветочный» расположенного в непосредственной близости от сельского поселения Поляны и выделенного территориально в автономную территориальную единицу под юрисдикцией сельского совета сельского поселения Поляны.

Настоящим проектом предусматривается построение оптической сети по технологии GPON в коттеджном поселке «Цветочный», с целью открыть доступ к широкополосному интернету для потенциальных жителей поселка и внедрить широкий спектр высококачественных услуг. Основной целью проекта



является предоставление услуги ШПД в 444 коттеджах коттеджного поселка «Цветочный».

Проект содержит основные решения по организации оптической сети доступа для всех жилых домов, расположенных в коттеджном поселке «Цветочный».

Принятая рабочим проектом технология и оборудование, организация производства и труда соответствуют новейшим достижениям телекоммуникационной техники. На рисунке 5 приведена схема проектируемого оптического доступа.

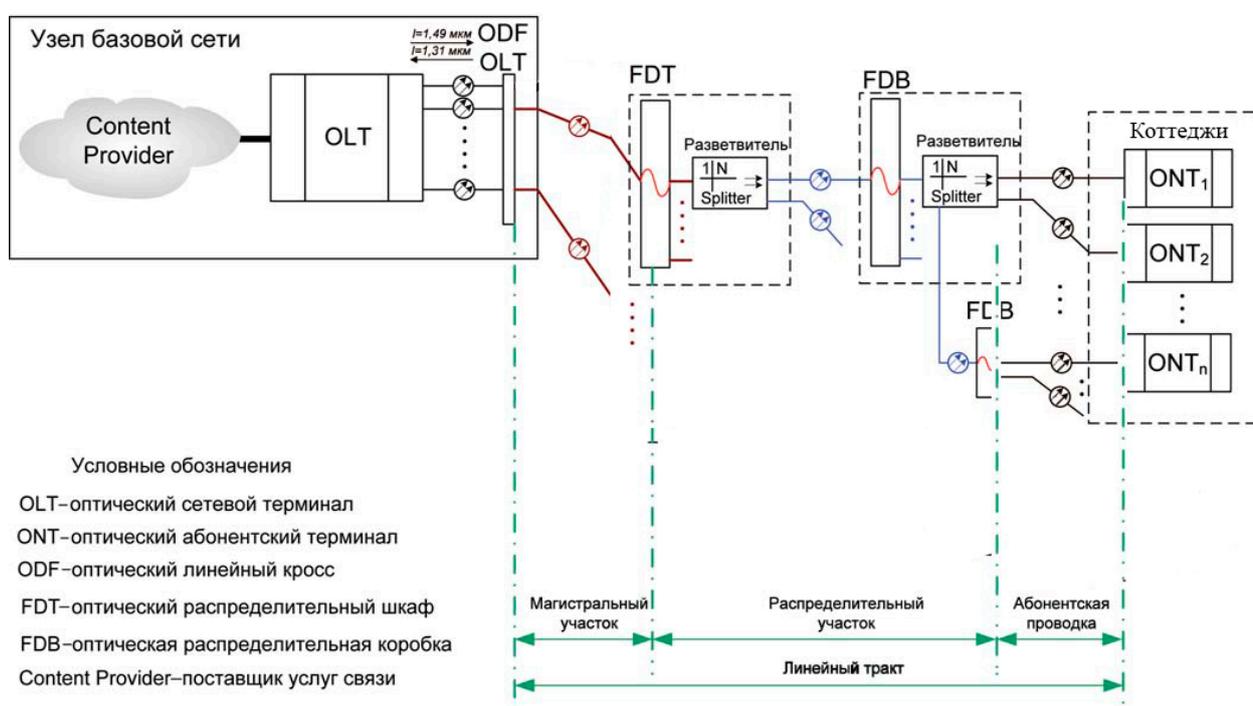


Рисунок 5 – Схема проектируемого оптического доступа

2.4.2 Оптимизация прокладки магистрального участка линии связи

Оптимизация прокладки участка магистральной трассы через коттеджный поселок «Цветочный» будет рассчитываться по математической модели из теории графов – методом Дейкстра.

Смысл оптимизации прокладки участка кабеля заключается в том, чтобы найти маршрут с наименьшими затратами на стоимость покупаемого кабеля и на оптический бюджет, так как хаотичным способом проведенный по территории поселка кабель приведет не только ко всеобщей дезорганизации сети и потенциальной нереализуемости подключения новых абонентов, но и в силу протяженности кабеля к повышенному уровню затуханий сигнала.



Алгоритм Дейкстры решает задачу о кратчайших путях из одной вершины для взвешенного ориентированного графа $G = (V, E)$ с исходной вершиной s , в котором веса всех рёбер неотрицательны. Каждой вершине из V сопоставим метку — минимальное известное расстояние от этой вершины до a .

Алгоритм работает пошагово — на каждом шаге он «посещает» одну вершину и пытается уменьшать метки. Работа алгоритма завершается, когда все вершины посещены.

Расположим на местах поворотов и крутых изгибов на карте поселка метки, и будем их считать вершинами графа, а линии их соединяющие — ребрами графа.

Для выполнения условий проекта, необходимо провести магистральную линию из пункта «А» в пункт «Б» на карте, которые соответствуют точкам соединения волоконно-оптических трасс.

Учитывая это, данный граф является взвешенным и ориентированным, что достаточно для нахождения оптимального пути прокладки волоконно-оптического кабеля по методу Дейкстры.

После введения всех необходимых данных и проведение вышеописанной операции будет сформирована следующее изображение с найденным кратчайшим путем, оно продемонстрировано на рисунке 6.

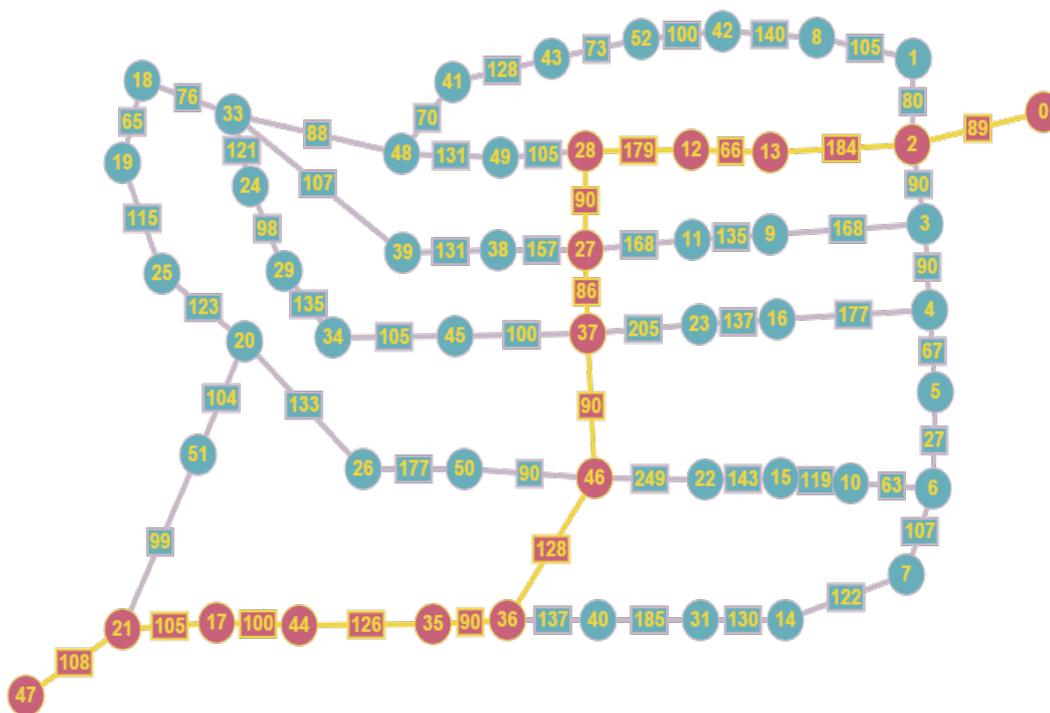


Рисунок 6 – Найденный кратчайший путь из пункта «А» в пункт «Б»



После суммирования вычисленный оптимальный путь составляет 1441 метр. В пунктах «А» и «Б» будут установлены проходные оптические муфты SNR-FOSC-H на 4 кабеля каждая, поддерживающая до 48 волокон.

2.4.3. Выбор оптимального волоконно-оптического кабеля для 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 7 иллюстрирует общую схему построения PON сети, с применением муфт, ОРШ.

В зависимости от степени удалённости подсоединяемых 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.

Коттеджный поселок «Цветочный», на территории которого имеется 444 коттеджных малоэтажных домов, удалённый от ближайшего АТС на значительную дистанцию, является зоной магистральной сети.

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.



разветвительных муфт.

Необходимо, чтобы ёмкость магистрального ВОК, входящего в ОРШ, составляла не менее 48 ОВ, а ёмкость магистрального ВОК, входящего в магистральную муфту, - не менее 12 волокон для малоэтажной застройки. Данное положение доказывается расчётом общей ёмкости кабеля.

Возможное количество задействованных (расчётная ёмкость) волокон магистрального кабеля определяется следующим образом: количество жилых коттеджей охватываемого поселка делим на число 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, школ, административных зданий):

$$N_{\text{ов}} = 1,3 * N_{\text{к}} / 64 \quad (1)$$

где - $N_{\text{ов}}$ – необходимое количество оптических волокон, $N_{\text{к}}$ - количество коттеджей в районе, планируемом к подключению;

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

$$N_{\text{ов}} = 1,3 * N_{\text{к}} / 32 \quad (2)$$

В коттеджном поселке «Цветочный» прогнозируемая заинтересованность составляет 100%, поэтому расчёт проводят по формуле (2):

$$N_{\text{ов}} = 1,3 * 444 / 32 \approx 18,0375$$

Выбирается ближайший по ёмкости кабель ёмкостью 24 волокна.

Под вышеописанные расчетные данные отлично подходит кабель ИКАТ-М6П-А36-27.0.

Расшифровка данной маркировки следующая:

ИКАТ-М6П-А36-27.0

ИК – оптический кабель марки «Интегра-Кабель»;

А – повив из арамидных упрочняющих нитей;

Т – защитная оболочка из трекингостойкого материала;

М – тип сердечника (повив модулей);

6 – количество элементов повива сердечника;

П – тип осевого элемента сердечника кабеля (стеклопластиковый пруток);



А – тип оптического волокна (одномодовое, ITU-T G.652.C(D));
 36 – количество оптических волокон в кабеле;
 27.0 – максимально допустимое растягивающее усилие кабеля, в кН;
 Его основные параметры приведены в таблице 2:

Таблица 2 – основные характеристики ВОК ИКАТ-М6П-А36-27.0

Параметр	ИКАТ...М...
Конструкция сердечника кабеля	повив оптических модулей
Количество оптических волокон в кабеле	до 288
Количество элементов повива сердечника	4-24
Номинальный наружный диаметр кабеля от, мм	11,1
Масса кабеля от, кг/км	97
Длительно допустимая растягивающая нагрузка, кН	не менее 3,0
Допустимая раздавливающая нагрузка, не менее, кН/см	0,3
Допустимое ударное воздействие, не менее, Дж	5
Минимальный радиус изгиба	20 Ø кабеля
Рабочий диапазон температур, °С	от -60 до + 70
Температура прокладки и монтажа, не ниже, °С	-30

Оптические характеристики ВОК:

- а) Рабочий диапазон длин волн 1310-1625 нм;
- б) Коэффициенты затухания многомодовых волокон на длине волны 1300 нм не превышает 0.7 дБ/км;
- в) Коэффициент затухания одномодовых ОВ:
 - на длине волны 1310 нм не превышает 0.36 дБ/км;
 - на длине волны 1550 нм не превышает 0.22 дБ/км.



2.5 Предложения по сети 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: подключение ближайшего послелка «Поляны». Внедрение комплекса оборудования Ni-FOCuS 5 для массовых установок предполагает использование сверхэффективного набора карт, позволяющего увеличить как ёмкость устройства, так и экономические показатели проекта.

Выводы

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 конечных 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.