

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И
СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ЦЕНТР СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО,
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

А.В. ШИН, Н. ХОДЖАЕВ

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

*Учебное пособие для
профессиональных колледжей*

Издательский дом «ILM ZIYO»
ТАШКЕНТ – 2016

УДК: 621.377.037.3(075)

ББК 32.949

Ш 76

*Рекомендовано к изданию Советом по координации
деятельности научно-методических объединений высшего
и среднего специального, профессионального образования*

Рецензенты:

А.А. Абдумунинов – Генеральный директор АК «Узтелеком»;

Д.Ю. Юнусов – т.ф.н., доцент;

Т.П. Овчинникова – зам. директора ТПКИТ по УПР

В данном учебном пособии представлены общие принципы построения систем передачи телекоммуникаций, а также систем с частотным распределением каналов, систем с временным разделением каналов. Рассмотрены способы объединения цифровых потоков в цифровых системах передачи плезихронной и синхронной цифровой иерархии. Рассматриваются технологии сети абонентского доступа, которым в настоящий момент операторы связи уделяют большое внимание, так как современным пользователям требуются большие скорости и объемы передачи и приема информации различного рода. Подробно описываются технологии ISDN, DSL, PON.

Отдельной главой выделяется решение «последней мили» с использованием оптических систем.

Данное учебное пособие поможет молодому специалисту легко сориентироваться в целой плеяде современных принципов организации телекоммуникационных систем передачи.

Человечество движется по пути создания Глобального информационного общества, основой которого станет Глобальная информационная инфраструктура, составляющей которой будут мощные транспортные сети связи и распределённые сети доступа, предоставляющие информацию пользователям.

ISBN 9943-16-214-3

© «ILM ZIYO», 2016

© А.В. Шин, Н. Ходжаев

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние телекоммуникационных сетей можно определить термином «движение к совершенству». Вряд ли можно предугадать, как они будут выглядеть в будущем, сколько поколений сетей и технологий предстоит еще пройти. Однако уже сегодня видны первые наработки: мощные сети передач и коммутации пакетов, высокоскоростные линии доступа, оптические телекоммуникационные технологии и т. д., которые и определяют следующие поколения телекоммуникационных сетей.

В последние годы связь развивается по пути цифровизации всех видов информации. Это стало главным направлением, обеспечивающим экономичные методы не только передачи информации, но и ее распределения, хранения и обработки.

На смену аналоговым системам передачи и медным кабелям приходят волоконно-оптические системы передачи с большими скоростями передачи.

Интенсивное развитие цифровых систем передачи объясняется существенными достоинствами этих систем по сравнению с аналоговыми: высокой помехоустойчивостью; слабой зависимостью качества передачи от длины линии связи; стабильностью электрических параметров каналов связи; эффективностью использования пропускной способности при передаче дискретных сообщений и так далее.

Вместе с тем, ужесточаются требования к наборам, качеству и возможностям новых услуг связи. С кон-

ца 80-х – начала 90-х годов прошлого столетия стал более активным рынок услуг связи, требующий все более новых услуг, причем в крайне сжатые сроки. Все это привело к тому, что индустрия телекоммуникационных технологий в настоящее время изменило свою ориентацию от производства способов и средств предоставления соединений на предоставление услуг. Главным «инициатором» таких изменений сегодня является концепция интеллектуальной сети – IN. Базой для предоставления интеллектуальных услуг является технология NGN.

В данном учебном пособии представлены общие принципы построения систем передачи телекоммуникаций, а также систем с частотным распределением каналов, систем с временным разделением каналов. Рассмотрены способы объединения цифровых потоков в цифровых системах передачи плездохронной и синхронной цифровой иерархии. Рассматриваются технологии сети абонентского доступа, которым в настоящий момент операторы связи уделяют большое внимание, так как современным пользователям требуются большие скорости и объемы передачи и приема информации различного рода. Подробно описываются технологии ISDN, DSL, PON.

Отдельной главой выделяется решение «последней мили» с использованием оптических систем.

Данное учебное пособие поможет молодому специалисту легко сориентироваться в целой плеяде современных принципах организации телекоммуникационных систем передачи.

Человечество движется по пути создания Глобального информационного общества, основой которого станет Глобальная информационная инфраструктура, составляющей которой будут мощные транспортные сети связи и распределенные сети доступа, предоставляющие информацию пользователям.

1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ

1.1. Основные понятия, определения и классификация

Развитие человеческой цивилизации – это непрерывное и динамичное развитие средств общения от личного до общественного, от примитивных с помощью жестов, мимики, наскальных рисунков, звуков и света (дыма), «ямской гоньбы» и оптических семафоров до создания глобальных телекоммуникационных систем и сетей, обеспечивающих передачу, прием, обработку, распределение и хранение различной информации. Под *информацией* понимается совокупность сведений о событиях, явлениях, процессах, понятиях и фактах, предметах и лицах независимо от формы представления.

Телекоммуникационные системы – это комплекс технических средств, обеспечивающих электрическую связь (электросвязь) определенного типа. В приведенном определении есть ключевые слова «связь» и «электросвязь». Что же это такое?

Связь (communication) – обмен информацией или пересылка информации с помощью средств, функционирующих в соответствии с согласованными правилами (называемыми в конкретных условиях *протоколами*).

Международная конвенция по электросвязи определила *электросвязь* как «...передачу, получение и прием знаков, сигналов, письменного текста, изображения

и звуков или сообщений любого рода по проводной, радио- и оптической или другим электромагнитным системам

Электросвязь (telecommunication) – передача или прием знаков, сигналов, текстов, изображений, звуков по проводной, оптической или другим электромагнитным системам. Это определение может быть выражено и в такой форме: электросвязь – это передача и прием сообщений с помощью сигналов электросвязи по проводной, радио-, оптической или другим средам распространения.

Вышеприведенные определения содержат знаковые слова: сообщение, сигнал, сигнал электросвязи. А что это такое?

Сообщение – форма представления информации для передачи ее от источника информации к потребителю. Применительно к сфере телекоммуникаций сообщение – это информация, передаваемая с помощью электромагнитных сигналов средствами электросвязи. Примеры сообщений: текст телеграммы, речь, музыка, фототелеграмма-факс, телевизионное изображение, данные с выхода компьютера, команды в системах телеуправления и телеконтроля и др.

Сигнал – материальный носитель или физический процесс, отражающий (несущий) передаваемое сообщение.

Классификация сигналов может быть самой разнообразной, но особый интерес представляют электрические сигналы, называемые *сигналами электросвязи* и представляющие электрические напряжения или токи, изменение параметров которых во времени отражает передаваемое сообщение. К электрическим сигналам относятся: телефонные, телеграфные, факсимильные сигналы, сигналы передачи данных, сигналы телевизионного и звукового вещания, сигналы телеконтроля и телеуправления.

С понятием «телекоммуникационные» системы тесно связано понятие *телекоммуникационные сети*,

представляющих совокупность пунктов, узлов и линий (каналов, трактов) их соединяющих.

Телекоммуникационные системы и телекоммуникационные сети, взаимодействуя друг с другом, образуют *систему электросвязи* – комплекс технических средств, обеспечивающих электросвязь определенного вида.

В системах управления различного назначения для передачи сообщений широко применяются различные виды электросвязи, в числе которых радиосвязь посредством радиоволн.

Обобщенная структурная схема системы связи представлена на рис. 1.1. Отправителем и получателем сообщения могут выступать как человек, так и различного рода технические устройства, обеспечивающие формирование, регистрацию, хранение и использование сообщений.

По своему характеру сообщения могут иметь различную структуру. Сообщения могут быть в виде речи, буквенно-цифрового текста, изображения, цифровых данных и т. д.

Совокупность передающего устройства, линии связи и приемного устройства принято называть *каналом связи*. Отправитель сообщений, канал связи и получатель сообщений образуют *систему связи*. Часто приемные и передающие устройства, расположенные вместе, объединяют.

Телекоммуникационные системы и сети представляют совокупность технических средств, осуществляющих для передачи сообщения от источника к получателю:

Канал связи обеспечивает соединение передатчика и приемника. Физический канал может быть как двухпроводной линией, которая пропускает электрический сигнал, так и стекловолокном, которое переносит информацию посредством модулированного светового луча.

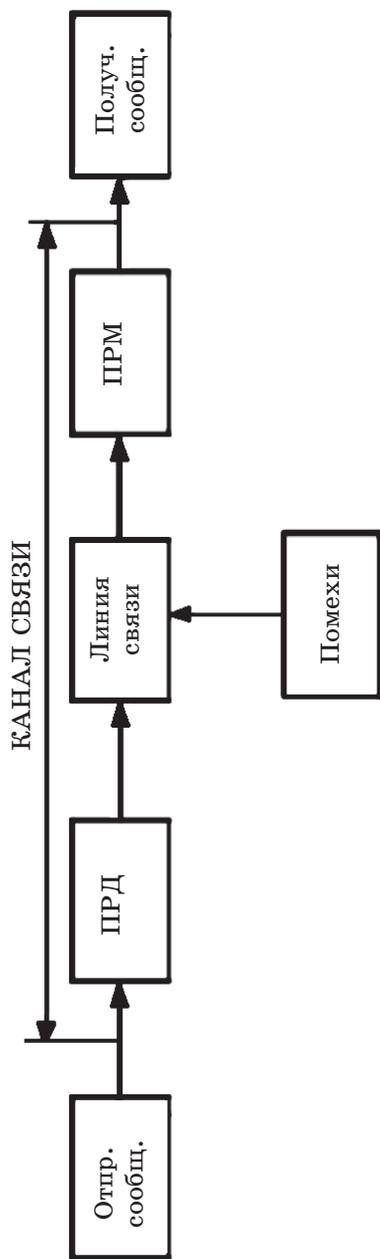


Рис. 1.1. Обобщенная структурная схема системы связи

Для передачи информации в океане используют подводный акустический канал, а в свободном пространстве несущий информационный сигнал является радиоволной и излучается при помощи антенны.

Другие среды, которые могут характеризоваться как каналы связи и средства хранения данных, – магнитная лента, магнитные и оптические диски.

Одна общая проблема при передаче сигнала через любой канал – *аддитивный шум*. Вообще говоря, аддитивный шум часто создается внутри различных электронных компонентов, таких как резисторы и твердотельные устройства, используемые в системах связи. Эти шумы часто называют *тепловым шумом*.

Другие источники шума и интерференции (наложения) могут возникать вне системы, например переходные помехи от других пользователей канала. Когда такой шум и переходные помехи занимают тот же самый диапазон частот, что и полезный сигнал, их влияние может быть минимизировано путем соответствующего выбора передаваемого сигнала и демодулятора в приемнике.

Другие виды сигнальных искажений, которые могут встречаться при передаче сигнала по каналу – это затухание сигнала, амплитудные и фазовые искажения сигнала и искажения сигнала, обусловленные многопутевым распространением волн. Влияние шума может быть уменьшено увеличением мощности передаваемого сигнала. Однако конструктивные и другие практические соображения ограничивают уровень мощности передаваемого сигнала.

Другое базовое ограничение – доступная ширина полосы частот канала. Ограничение ширины полосы обычно обусловлено физическими ограничениями среды и электрических компонентов, используемых в передатчике и приемнике. Эти два обстоятельства приводят к ограничению количества данных, которые могут быть переданы надежно по любому каналу связи.

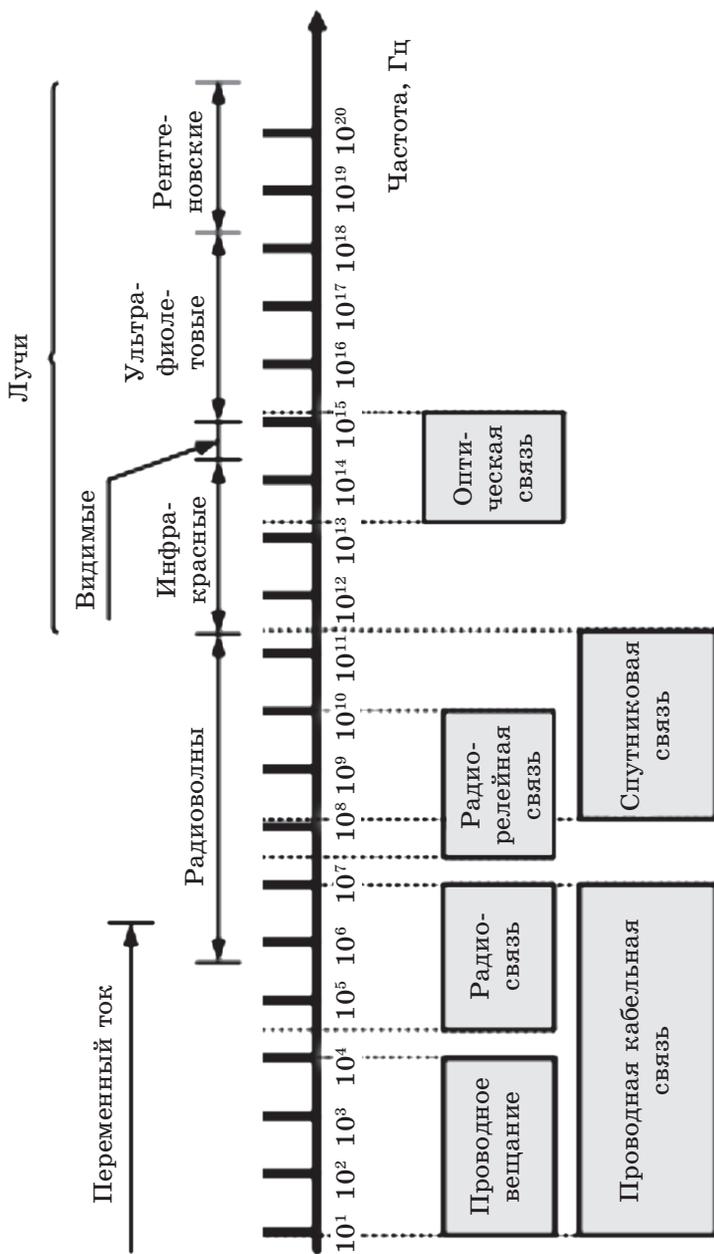


Рис. 1.2. Частотный диапазон электромагнитных волн

Рис. 1.2 поясняет частотный диапазон используемых электромагнитных каналов, которые включают волноводы и оптический кабель.

Рассмотрим основные типы каналов связи, классифицированные по используемой среде передачи (рис. 1.3).

Проводные каналы. Витые проводные пары и коаксиальный кабель в основном дают электромагнитный канал, который обеспечивает прохождение относительно умеренной ширины полосы частот. Так, телефонный провод, обычно используемый для соединения абонента с центральной станцией, имеет ширину полосы несколько сотен килогерц. С другой стороны, коаксиальный кабель обычно имеет используемую ширину полосы частот несколько мегагерц.

Сигналы, передаваемые через такие каналы, искажаются по амплитуде и фазе, кроме этого на них накладывается аддитивный шум. Проводная линия связи в виде витой пары также склонна к интерференции переходных помех от рядом расположенных пар. Поскольку проводные каналы составляют большой процент каналов связи по всей стране и миру, широкие исследования были направлены на определение их свойств передачи и на уменьшение амплитудных и фазовых искажений в канале.

Волоконно-оптические каналы. Стекловолокно предоставляет проектировщику системы связи ширину полосы частот, которая на несколько порядков больше, чем у каналов с коаксиальным кабелем. В течение прошедшего десятилетия были разработаны оптические кабели, которые имеют относительно низкое затухание для сигнала, и высоконадежные оптические устройства для генерирования и детектирования сигнала. Эти технологические достижения привели к быстрому освоению таких каналов, как для внутренних телекоммуникационных систем, так и для трансатлантических и мировых систем связи. С учетом большой ширины полосы частот, доступной на волоконно-оптических кана-

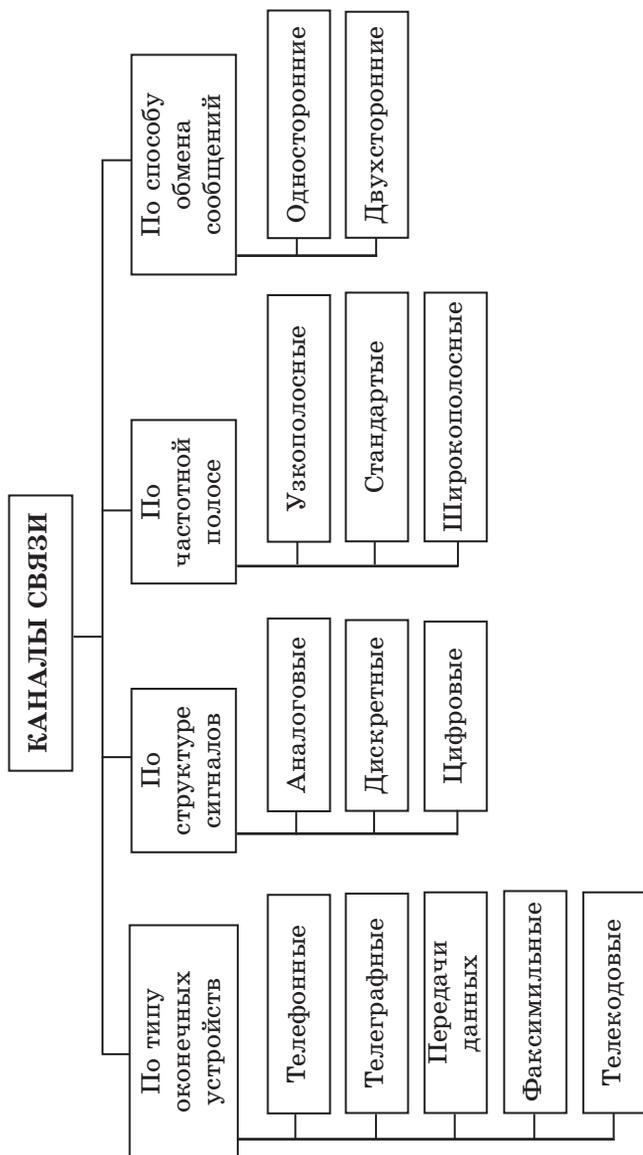


Рис. 1.3. Классификация каналов связи

лах, стало возможно для телефонных компаний предложить абонентам широкий диапазон услуг электро-связи, включая передачу речи, данных, факсимильных и видеосигналов.

Передачиком, или модулятором, в волоконно-оптической системе связи является источник света, светоизлучающий диод или лазер. Информация передается путем изменения (модуляции) интенсивности источника света посредством сигнала сообщения. Свет распространяется через волокно как световая волна, которая для компенсации затухания сигнала периодически усиливается (в случае цифровой передачи детектируется и восстанавливается ретрансляторами) вдоль тракта передачи.

В приемнике интенсивность света детектируется фотодиодом, чей выход является электрическим сигналом, который изменяется пропорционально мощности света на входе фотодиода. Источники шума в волоконно-оптических каналах – это фотодиоды и электронные усилители. Предполагается, что волоконно-оптические каналы заменят почти все каналы проводной линии связи в телефонной сети на рубеже столетия.

Беспроводные (радио) каналы. В системах беспроводной связи (радиосвязи) электромагнитная энергия передается в среду распространения антенной, которая служит излучателем. Физические размеры и структура антенны зависят, прежде всего, от рабочей частоты. Чтобы получить эффективное излучение электромагнитной энергии, размеры антенны должны быть больше чем $1/10$ длины волны.

Способы распространения электромагнитных волн в атмосфере и в свободном пространстве можно разделить на три категории, а именно:

- распространение поверхностной волной;
- распространение пространственной волной;
- распространение прямой волной.

В этих частотных диапазонах сигналы связи фактически распространяются вокруг всего земного шара. По этой причине эти диапазоны частот во всем мире используются прежде всего для решения навигационных задач при управлении удаленными объектами. Ширина полосы частот канала, доступной в этих диапазонах, относительно мала (обычно составляет 1...10% центральной частоты), и, следовательно, информация, которая передается через эти каналы, имеет относительно низкую скорость передачи и обычно неприемлема для цифровой передачи.

Доминирующий тип шума на этих частотах обусловлен грозовой деятельностью вокруг земного шара, особенно в тропических областях. Интерференция возникает из-за большого числа станций в этих диапазонах частот.

Частоты выше 30 МГц проходят через ионосферу с относительно малыми потерями и делают возможным спутниковую и внеземную связь. Следовательно, на частотах УВЧ диапазона и выше основным способом электромагнитного распространения волн является распространение в пределах прямой видимости. Для земных систем связи это означает, что передающая и приемная антенны должны быть в прямой видимости с относительно малой преградой (или ее отсутствием). По этой причине передача телевизионных станций в УВЧ и СВЧ диапазонах частот для достижения широкой зоны охвата осуществляется антеннами на высоких опорах.

Вообще, зона охвата для прямой видимости распространения ограничена кривизной поверхности Земли. Если передающая антенна установлена на высоте h [м] над поверхностью Земли, расстояние до радиогоризонта, не принимая во внимание физические преграды, такие как горы, приблизительно $d=V(15h)$ [км]. Например, антенна телевидения, установленная на высоте 300 м, обеспечивает покрытие территории приблизительно 67 км.

Другой пример – релейные системы микроволновой радиосвязи, используемые для передачи телефонных и видеосигналов на частотах выше, чем 1 МГц, имеют антенны, установленные на высоких опорах или сверху на высоких зданиях.

Доминирующий шум, ограничивающий качество системы связи в ВЧ и УВЧ диапазонах, – тепловой шум, создаваемый во входных цепях приемника, и космические шумы, улавливаемые антенной. На частотах в диапазоне СВЧ выше чем 10 ГГц при распространении сигнала главную роль играют атмосферные условия.

Например, на частоте 10 ГГц затухание меняется приблизительно от 0,003 дБ/км при легком дожде до 0,3 дБ/км при тяжелом дожде, а на частоте 100 ГГц – от 0,1 дБ/км до 6 дБ/км соответственно. Следовательно, в этом частотном диапазоне тяжелый дождь вызывает чрезвычайно высокие потери при распространении, которые могут приводить к отказу системы обслуживания (полный обрыв в системе связи).

На частотах выше КВЧ (крайне высокие частоты) полосы мы имеем диапазон инфракрасного и видимого излучений в области электромагнитного спектра, который может использоваться для применения прямой видимости оптической связи в свободном пространстве. До настоящего времени эти диапазоны частот использовались в экспериментальных системах связи типа связи между спутниками. Сейчас эти системы активно внедряются в системы контроля по безопасности дорожного движения.

Классификационная группировка связи, выделенная по среде распространения сигналов или по применяемым средствам, называется *родом связи*. Различают следующие разновидности связи, – приведенные на рис. 1.4:

Радиосвязь – род связи, который реализуется с использованием радиосредств, земных и ионосферных радиоволн.

Радиорелейная связь – род связи, который реализуется с использованием радиорелейных средств связи и радиоволн в ультракоротковолновом диапазоне. Радиорелейная связь применяется в звеньях управления от полка и выше [5].

Тропосферная связь – это род связи, который реализуется с использованием тропосферных средств связи и физического явления дальнего тропосферного распространения ультракоротких волн (ДТР УКВ).

По своему назначению, применению и качеству тропосферная связь аналогична радиорелейной.

В настоящее время имеет место в мире устойчивая тенденция повышения роли космической и спутниковой связи в телекоммуникационных системах.

Космическая связь – радиосвязь в интересах корреспондентов наземного, воздушного и морского базирования, имеющая общие участки распространения радиоволн за пределами ионосферы, например гражданская авиация, управление транспортным потоком автомобильного и железнодорожного транспорта, исследование поверхности Земли в целях изучения геологии, гидрологии и т.д.

Спутниковая связь – частный случай космической связи, когда между абонентами наземного, воздушного или морского базирования связь осуществляется с использованием ретранслятора, размещенного на искусственном спутнике земли.

Проводная связь – связь, осуществляемая по проводным (кабельным) линиям связи. В системах проводной связи электрический сигнал передается по кабельной линии. Средства проводной связи обеспечивают высокое качество каналов, простоту организации связи, относительно большую скрытность по сравнению с радиосвязью, почти не подвержены воздействию преднамеренных помех.

Волоконно-оптическая связь – связь, осуществляемая по волоконно-оптическому кабелю и специальной аппаратуре преобразования электрических сигналов в оптические.



Рис. 1.4. Классификация родов связи

Все рода связи реализуются конкретными средствами связи: радиостанциями, радиорелейными, тропосферными станциями, станциями спутниковой связи, проводными средствами связи, волоконно-оптическими средствами связи. Эти средства образуют каналы связи: радио-, радиорелейные, тропосферные и т.д. Для каналов образующих средств каждого рода связи установлены условные обозначения, применяемые при разработке документов по связи.

Одна и та же по содержанию информация может быть представлена сообщениями различного вида: текстом, данными, изображением или речью. В зависимости от способа представления сообщений к удобному для восприятия виду различают виды связи.

Вид связи – это классификационная группировка связи, выделенная по виду передаваемого сообщения (оконечного оборудования или средства связи). При использовании соответствующей оконечной аппаратуры по каналам радио-, радиорелейных, тропосферных, спутниковых, проводных (кабельных) линий связи обеспечиваются следующие виды связи:

- телефонная связь;
- видеотелефонная связь;
- телеграфная связь;
- передача данных;
- факсимильная связь;
- телевизионная связь.

Телефонная связь – это вид электросвязи, обеспечивающий передачу (прием) речевой информации. Телефонная связь создает условия, близкие к личному общению, поэтому является наиболее удобной. С целью информационной безопасности содержания телефонных переговоров в каналах связи применяется кодирование (шифрование) сигнала.

Телеграфную связь, передачу данных и факсимильную связь принято объединять понятием «документальная связь». Ниже укажем предназначение и дадим краткую характеристику каждого вида связи.

Телеграфная связь – вид электросвязи, обеспечивающий обмен телеграммами (краткими текстовыми сообщениями). Кроме того, она предназначена для передачи документальных сообщений в виде шифрограмм, кодограмм.

Телеграфная связь может быть буквопечатающей или слуховой. Телеграммы, несущие важную информацию, могут предварительно шифроваться или кодироваться.

Факсимильная связь – это вид электросвязи, обеспечивающий обмен документальной информацией в цветном и черно-белом изображении. Она предназначена для передачи документов в виде карт, схем, чертежей, рисунков и буквенно-цифровых текстов в черно-белом или цветном изображении. Данная связь представляет большое удобство должностным лицам органов управления, так как на приемном устройстве получается готовый для дальнейшей работы документ с соответствующими подписями и печатями.

Передача данных – это вид электросвязи, обеспечивающий обмен формализованными и неформализованными сообщениями между компьютерами и локальными сетями, автоматизированными рабочими местами должностных лиц пунктов управления.

Видеотелефонная связь – это вид электросвязи, обеспечивающий переговоры между пользователями с одновременной передачей подвижных изображений.

Телевизионная связь – это вид электросвязи, обеспечивающий передачу телевизионного вещания каналов массовой информации.

1.2. Состав и структура сетей телекоммуникаций

Сеть связи – объединенная единой целью функционирования совокупность оконечных устройств, коммутационных центров и соединяющих их линий (каналов) связи, выполняющих соответственно функции распределения и передачи сообщений, а также сред-

ства управления, реализующие заданные алгоритмы функционирования сети.

Источники и получатели информации в сетях связи называются *абонентами связи*.

Абоненты связи определяют вид передаваемой информации, форму ее представления и требования к качеству передачи.

Сети связи должны обеспечить такой обмен информацией, при котором абонентам связи будет гарантирована передача информации в требуемом объеме точно по заданному адресу, при задержках, не превышающих установленных значений, с заданным качеством, скрытностью и секретностью.

Указанные требования определяют состав, структуру, принципы построения и характеристики сетей связи и их элементов, особенности построения и эксплуатации систем передачи.

Последние годы наряду с понятием сети связи широко используется понятие *телекоммуникационных сетей*, которое по существу является синонимом. Следует отличать сети электросвязи от инфокоммуникационных сетей:

Телекоммуникационная сеть – это технологическая система, которая состоит из линий и каналов связи, узлов, оконечных станций и предназначена для обеспечения пользователей электрической связью с помощью абонентских терминалов, подключаемых к оконечным станциям;

Инфокоммуникационная сеть (ранее применялись также термины «информационная сеть», «компьютерная сеть» и др.) – это технологическая система, которая включает в себя, кроме сети связи, также средства хранения, обработки и поиска информации и предназначена для обеспечения пользователей электрической связью и доступом к необходимой им информации.

Процессы интеграции и конвергенции связи и средств информатизации способствуют превращению

телекоммуникационных сетей в инфокоммуникационные сети.

В соответствии с Законом Республики Узбекистан «О телекоммуникациях» сеть телекоммуникаций состоит из сетей следующих категорий:

- сеть связи общего пользования;
- выделенные сети связи;
- технологические сети связи;
- сети специального назначения.

Сети общего пользования Республики Узбекистан имеют присоединения к сетям связи общего пользования иностранных государств.

К сети телекоммуникаций общего пользования относится сеть телекоммуникаций, предназначенная для оказания услуг телекоммуникаций всем юридическим и физическим лицам на территории Республики Узбекистан на основе единых принципов обслуживания, порядка их предоставления и оплаты. Правила оказания услуг телекоммуникаций на сети телекоммуникаций общего пользования устанавливаются специально уполномоченным органом в сфере телекоммуникаций.

Выделенные, технологические, а также сети связи специального назначения образуют группу сетей ограниченного пользования (ОгП), так как контингент их пользователей ограничен корпоративными клиентами.

Выделенные сети связи – это сети, предназначенные для предоставления услуг ограниченному кругу пользователей. Такие сети могут взаимодействовать между собой, но не имеют присоединения к сетям общего пользования, а также к сетям связи общего пользования иностранных государств. Выделенная сеть может быть присоединена к сети общего пользования с переводом в категорию сети общего пользования, если она соответствует ее требованиям.

Технологические (ведомственные, корпоративные) сети связи предназначены для обеспечения производственной деятельности организации и управления тех-

нологическими процессами. При наличии свободных ресурсов эти сетевые ресурсы могут быть присоединены к сети общего пользования и использованы для предоставления возмездных услуг любому пользователю.

Сети связи специального назначения предназначены для обеспечения нужд государственного управления, обороны, безопасности и охраны правопорядка в Республике Узбекистан. Такие сети не могут использоваться для возмездного оказания услуг связи, если иное не предусмотрено законодательством Республики Узбекистан.

По функциональному признаку сети разделяются на сети доступа и транспортные сети.

Транспортной является та часть сети связи, которая выполняет функции переноса (транспортирования) потоков сообщений между узлами коммутаций сетей абонентского доступа от их источников из одной сети доступа к получателям сообщений другой сети доступа, путем распределения этих потоков между сетями доступа.

Сеть абонентского доступа («последняя миля») – это часть телекоммуникационной сети общего пользования, расположенная между абонентскими оконечными устройствами, в качестве которых у потребителя могут быть задействованы компьютеры, телефонные аппараты, факсы, и телефонной станцией, узлом коммутации, являющимся граничным между сетью доступа и транспортной сетью.

По типу присоединяемых абонентских терминалов сети разделяются на:

- *сети фиксированной связи*, обеспечивающие присоединение стационарных абонентских терминалов;
- *сети подвижной связи*, обеспечивающие присоединение подвижных (перевозимых или переносимых) абонентских терминалов.

По территориальному делению сети разделяются на:

- *магистральную сеть* – это сеть, связывающая между собой узлы центров субъекта Республики Узбекистан.

кистан и узлы центра Республики Узбекистан. Магистральная сеть обеспечивает транзит потоков сообщений между зонавыми сетями и связанность единой сети электросвязи;

– *зоновые (или региональные) сети* – сети связи, образуемые в пределах территории одного или нескольких субъектов республики (регионов);

– *местные сети* – сети связи. образуемые в пределах административной или определенной по иному принципу территории и не относящиеся к региональным сетям связи. Местные сети подразделяются на городские и сельские;

– *международная сеть* – сеть общего пользования, соединяющая сети связи иностранных государств.

По числу служб электросвязи сети бывают:

– *односервисные*, предназначенные для организации одной службы электросвязи (например, радиовещания);

– *мультисервисные*, предназначенные для организации двух и более служб электросвязи (например, телефонной, факсимильной и нескольких мультимедийных служб).

По видам коммутации вторичные сети разделяются на:

– *некоммутируемые*;

– *коммутируемые* – с коммутацией каналов, сообщений, пакетов.

Сети общего пользования различают по объему обслуживаемой территории сети оператора связи, занимающего существенное положение (имеет более 25% монтированной емкости коммутации или пропускает более 25% трафика) и сети других операторов.

Современная телекоммуникационная система представляет собой достаточно сложную совокупность технических и программных средств передачи и распределения информации. Относясь по уровню организации к классу технических систем, она мо-

жет быть охарактеризована с принятых системологических принципов топологического и функционального описаний.

Под *топологическим описанием* телекоммуникационной системы понимается описание с точки зрения ее структуры и состава ее элементов. Под *функциональным описанием* – описание процессов изменения параметров системы.

Отвлекаясь от характеристик взаимодействия элементов телекоммуникационной системы, ее структуру можно представить как совокупность телекоммуникационной сети и системы управления элементами этой сети.

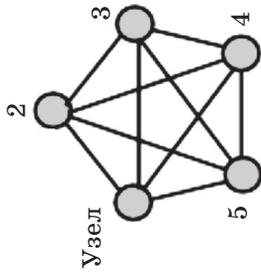
При этом в узком смысле сеть есть совокупность узлов, в которых происходит распределение информации, ввод ее в сеть извне (пользователем) и вывод из нее и линий и каналов связи, обеспечивающих перенос информации в пространстве между узлами.

Структура телекоммуникационной сети задается графом сети $G(V, U)$, где V – вершины графа, соответствующие узлам, U – дуги (ребра), соответствующие линиям связи между узлами.

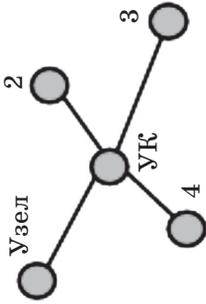
Когда говорят о структуре сети, имеют в виду топологию размещения узлов и абонентов сети и характер их взаимосвязи, при этом, как правило, отождествляют группу абонентов узла с абонентскими линиями, служащими для ввода – вывода информации, с данным узлом, полагая, что сам узел является источником и потребителем информации. Хотя на самом деле такое упрощение зачастую слишком грубое, о чем свидетельствуют проблемы так называемой «последней мили».

Различают следующие основные топологические структуры сетей (рис. 1.5): полносвязная сеть, радиальная, радиально-узловая, кольцевая. На основе базовых топологических структур может быть построена сеть произвольной структуры.

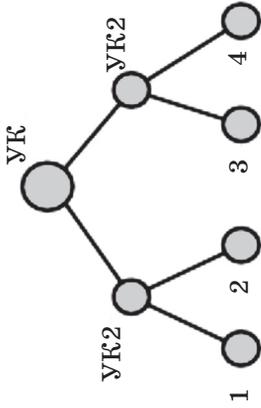
Полносвязная структура



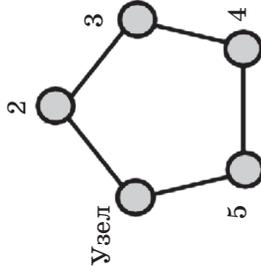
Узловая структура



Радиально-узловая структура



Кольцевая структура



Шина

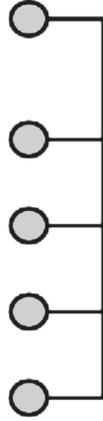


Рис. 1.5. Топологические структуры сетей

На основании изложенного выше можно перечислить основные топологические характеристики телекоммуникационной системы:

- первичность, вторичность сети;
- число и структуру уровней иерархии телекоммуникационной сети; число узлов сети; число сетевых узлов; число коммутационных узлов; число линий связи;
- матрица пропускных способностей линий связи; матрица емкостей линий связи; матрица длин линий связи; матрица стоимостей линий связи; матрица прямых каналов сети;
- матрица надежности линий связи;
- число и структура зон обслуживания (управления) сети;
- число и структура уровней иерархии системы управления со своими структурными параметрами и др.

В обобщенном виде структурная схема телекоммуникационной системы приведена на рис. 1.6.

В сетях с коммутацией каналов различают два вида соединений:

- долговременные – кроссировка каналов;
- оперативные – коммутация каналов.

В зависимости от применяемого на узлах соединения различают некоммутируемые и коммутируемые сети; узлы с коммутацией каналов, сообщений или пакетов называют коммутационными узлами. Линии (каналы) связи, инцидентные некоторому узлу, делятся на:

- оконечные (к абонентам данного узла);
- транзитные (образованные с помощью кроссировки);
- коммутируемые.

Для передачи потоков информации между различными парами узлов телекоммуникационной сети образуются пути, являющиеся последовательностью узлов и линий, в которых ни один узел не встречается дважды.

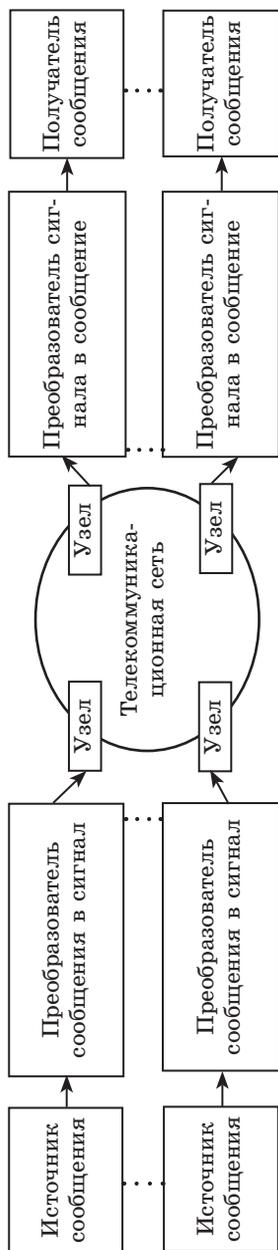


Рис. 1.6. Структура телекоммуникационной системы

Путь характеризуется:

- суммарной длиной составляющих его линий;
- пропускной способностью, равной минимальной пропускной способности составляющих линий;
- надежностными характеристиками.

Телекоммуникационные узлы представляют собой организационно-техническое объединение средств и комплексов связи (канального, коммутационного, абонентского и др. оборудования), характеризуемого определенными структурными свойствами и предназначенного для ввода, вывода информации, каналообразования, коммутации каналов связи (сообщений, пакетов) в соответствии с потребностью пользователей (абонентов) сети.

В узлах осуществляется формирование путей передачи информации между оконечными пунктами сети. С этой целью на узле предусматривается возможность непосредственного (для сетей с коммутацией каналов) или косвенного, через промежуточную буферную память (для сетей коммутации сообщений или пакетов), соединения между каналами линий связи, инцидентных (смежных) данному узлу.

Основными параметрами узла коммутации, которые влияют на параметры сети в целом, являются:

- *пропускная способность $s(i)$* , определяющая возможности коммутации в узле i (она зависит от объема коммутационного поля и от процедур управления узлом);
- *кроссировочная способность*, определяющая максимальный объем кросса через узел;
- *надежностные характеристики* (вероятность отказа, средняя частота отказа, среднее время восстановления и др.);
- *объем буферной памяти* (при коммутации сообщений и пакетов);
- *стоимость узла*;
- *параметры системы управления узлом*.

1.3. Развитие транспортной сети

Создание высокоэффективной телекоммуникационной сети является наиболее важной задачей на современном этапе развития.

Ранним этапом развития сетей телекоммуникаций было создание узкоспециальных сетей (телефонная сеть общего пользования, сеть передачи программ звукового вещания, телеграфная сеть общего пользования и др.). Такие специализированные сети назывались вторичными сетями связи.

Вторичная сеть представляет собой совокупность коммутационных станций, узлов коммутации, оконечных абонентских устройств и каналов вторичной сети, организованных на базе каналов передачи первичной сети. Название вторичной сети присваивается в зависимости от вида передаваемой информации.

Связь между узлами коммутационных сетей производилась с помощью соединительных линий (СЛ), которые также были узко специализированными, т.е. СЛ телефонной сети обслуживали только соединения между узлами коммутации телефонной сети и т.д.

В период существования вторичных сетей для взаимодействия узлов коммутации, разных населенных пунктов была также создана первичная сеть.

Первичная сеть представляет собой совокупность типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов, образованная на базе сетевых узлов, сетевых станций, оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи. Она охватывает территорию всей республики и имеет иерархическую структуру, объединяя магистральную, внутризонавые и местные первичные сети (термину «первичная сеть» соответствует англоязычный термин «transmission network», при переводе на русский язык означает «сеть передачи»).

Первичная сеть поставляла вторичным сетям каналы связи и групповые тракты для взаимодействия на определенной траектории (рис. 1.7).

Первичная сеть на предыдущих этапах развития создавалась на основе аналоговых систем передачи (АСП), поэтому каналы связи и групповые тракты (пучки каналов) также были аналоговыми.

Аналоговые каналы и групповые тракты имели существенные недостатки:

- недостаточная помехозащищенность;
- зависимость качества передаваемого сигнала от расстояния передачи.

Кроме этого, существовал ряд недостатков, таких как:

- отсутствие гибкости, адаптации к изменениям в уровне требований и запросов различных пользователей к скорости передачи, времени доставки и верности информации;

- низкая эффективность использования ресурсов сети, а следовательно, высокие материальные затраты.

Развитие средств связи, повышение требований к качеству обслуживания привело к появлению нового термина – транспортная сеть (transport network). Согласно Рекомендации G.803 ITU-T:

- *транспортирование* – это функциональный процесс переноса информации между разнесенными пунктами;

- *понятие «передача»* – физический процесс распространения информационных сигналов в физической среде.

Транспортная сеть – это совокупность всех ресурсов, выполняющих функции транспортирования, включающая не только системы передачи, но и относящиеся к ним средства контроля, оперативного переключения, управления и резервирования.

В связи с этим в настоящее время во всем мире используется 3-уровневый принцип построения телекоммуникационных сетей:

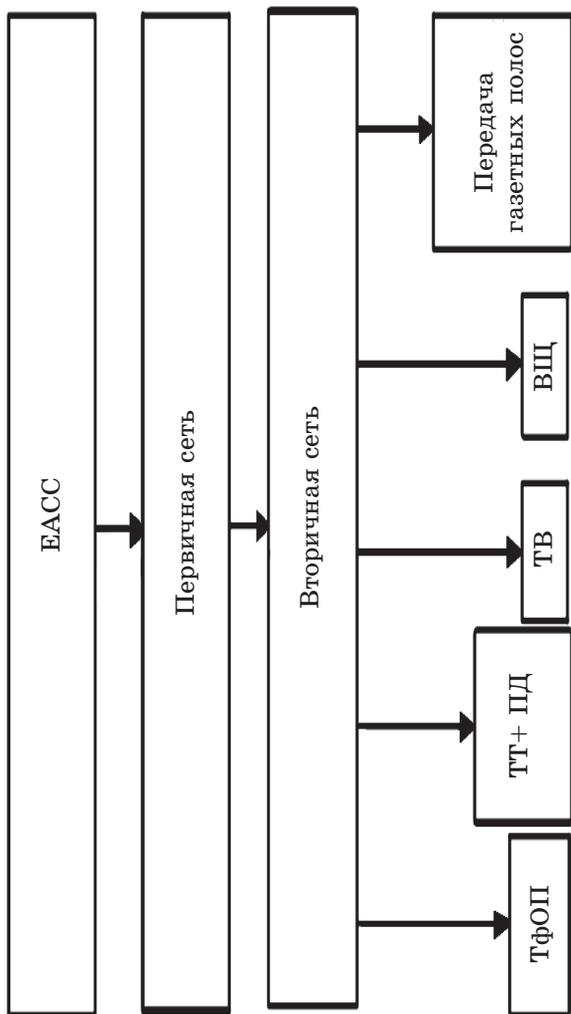


Рис. 1.7. Первичная и вторичная сети связи

1. транспортный уровень;
2. уровень доступа;
3. уровень различных служб и услуг, предоставляемых потребителям.

Транспортный уровень практически реализуется в виде цифровой транспортной сети, которая обеспечивает предоставление для уровня сетей доступа следующих типов цифровых трактов:

- первичный цифровой тракт со скоростью передачи 2М (организуется 30 ОЦК);
- третичный цифровой тракт 34М–480 ОЦК (вторичный цифровой тракт 8М, как средство доступа в транспортную сеть с использованием технологии SDH, не используется);
- четверичный цифровой тракт 140М (1920 ОЦК);
- первый уровень технологии SDH-STM-1 со скоростью передачи линейного сигнала 155 Мбит/с, организуется 1890 ОЦК;

Потребители ресурсов транспортной сети, в зависимости от объема трафика и вида сетей доступа, выбирают необходимый тракт доступа в транспортную сеть.

Основное назначение сети доступа – концентрация информационных потоков, поступающих по многочисленным каналам связи от оборудования пользователей, в сравнительно небольшом количестве специализированных узлов доступа транспортной сети.

В транспортной сети для передачи информации могут использоваться разные технологии:

- организация временного разделения цифровых потоков высокой скорости на основе цифровой плезиохронной иерархии PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) или цифровой синхронной иерархии SDH (Synchronous Digital Hierarchy);
- асинхронный способ передачи АТМ (Asynchronous Transfer Mode), основанный на адресном принципе передачи крупных пакетов информации;
- организация волнового разделения цифровых потоков высокой скорости с использованием мульти-

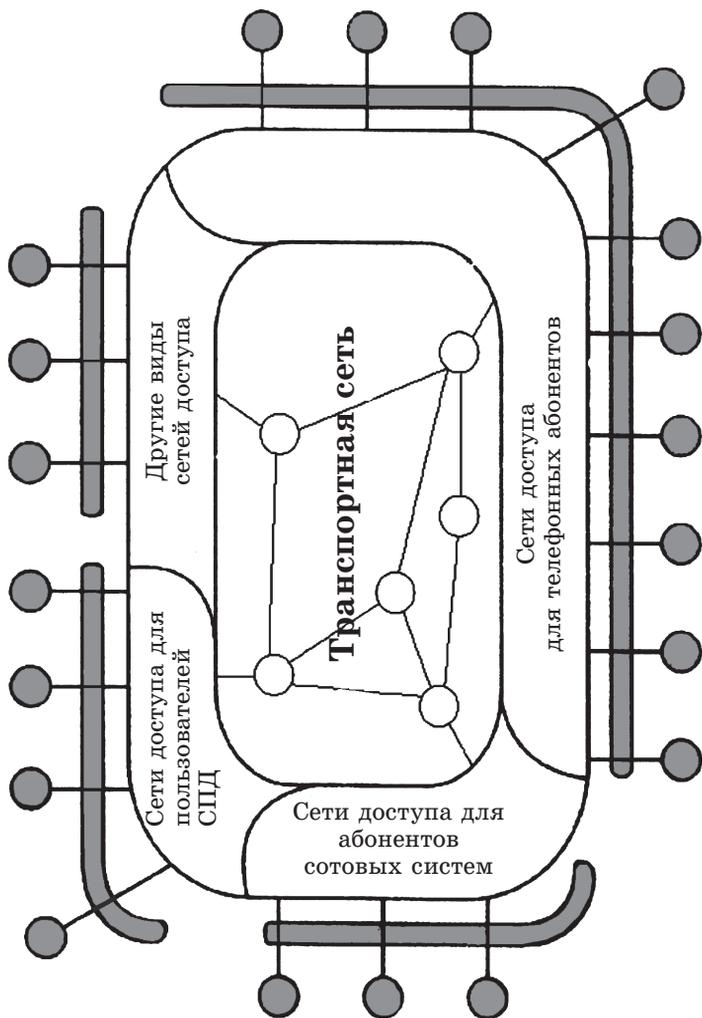


Рис. 1.8. Структура телекоммуникационной сети

плексоров WDM (Wavelength Division Multiplexing – спектральное уплотнение по длинам волн), DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing – плотное спектральное уплотнение), HDWDM (High Density Wavelength Division Multiplexing – высокоплотное спектральное уплотнение), CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing – разреженное спектральное уплотнение).

Выбор той или иной технологии для создания конкретной транспортной сети зависит от многих факторов, из которых основными являются:

- топология существующей телекоммуникационной сети с учетом ее изменения после внедрения новой технологии транспортной сети;

- перспектива развития выбранной технологии транспортной сети и возможность ее взаимодействия с другими технологиями транспортных сетей;

- ожидаемая структура трафика и удельный вес различных составляющих трафика (передача речи, передача данных, передача видео, компьютерной видеоконференции);

- вид возможных услуг и их качество, которые может обеспечить транспортная сеть совместно с сетями доступа.

Все эти факторы позволяют выбрать различные технологии транспортных сетей, но при выборе надо следовать следующим общим рекомендациям:

- если на транспортной сети преобладает телефонный трафик, то целесообразно использовать технологию SDH;

- если трафик транспортной сети смешанный (речь, передача данных, видео) и требуется гарантированное качество предоставления услуг, то целесообразно использовать технологию АТМ. Под гарантированным качеством предоставления услуг понимается предоставление потребителю заказанной скорости передачи (полосы пропускания), вероятности ошибки в цифро-

вом канале, времени задержки, не превышающего величины, определенной потребителем;

– если трафик смешанный и не требуется гарантированного качества предоставления услуг, то целесообразно выбирать технологию IP (VoIP – Voice over Internet Protocol), потому что она обеспечивает в настоящее время более дешевые тарифы на услуги телекоммуникаций.

– технологию волнового мультиплексирования WDM и DWDM целесообразно использовать для организации транспортных сетей, где требуется передача очень больших объемов информации (порядка десятков и сотен Гбит/с).

При выборе базовой технологии для транспортных сетей Республики Узбекистан, с учетом всех перечисленных выше факторов, была выбрана технология синхронной цифровой иерархии SDH. В первую очередь, такой выбор был произведен потому, что трафик в нашей республике примерно на 95% является телефонным (передача речи). По мере развития сетей передачи данных и, соответственно, объема трафика передачи данных, строятся наложенные сети по технологиям ATM и IP, путем их наложения на транспортную сеть, реализованную на технологии SDH.

Для транспортных сетей характерен территориальный принцип построения. Выделяют четыре уровня транспортных сетей.

Глобальная (международная) транспортная сеть – это совокупность международных станций и соединяющих их трактов, обеспечивающая международной связью абонентов различных национальных сетей. (См. рис. 1.9, где МЦ – Международный центр коммутации).

Эти сети могут иметь различную топологию, однако отдается предпочтение топологии «кольцо». Хотя, для примера, ТАЕВОЛС Шанхай–Франкфурт-на-Майне имеет топологию «последовательная линейная цепь».

Основные требования, предъявляемые к оборудованию международных сетей, – обеспечение передачи на

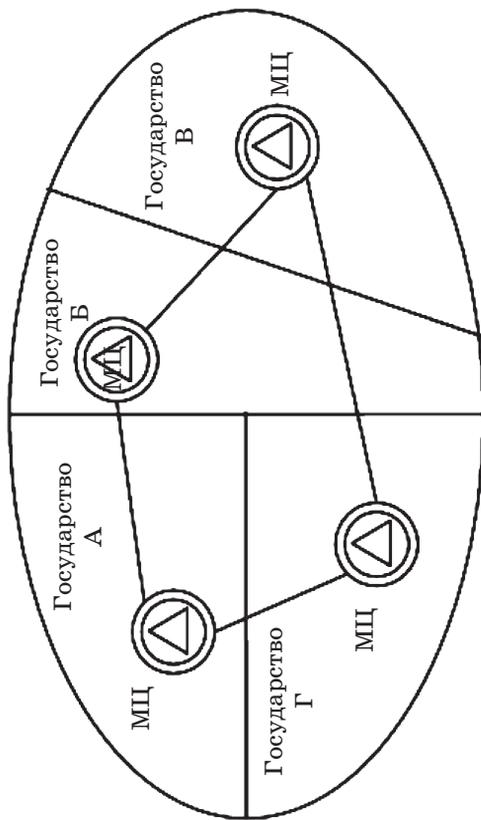


Рис. 1.9. Глобальная (международная) транспортная сеть

большие расстояния, большая емкость сети (DWDM, STM-256, STM-64).

В Узбекистане международные центры коммутации, служащие для пропуска международного трафика, расположены в Ташкенте и Бухаре.

Примером глобальной транспортной сети может служить реализованная по проекту Oxygen сеть связи FLAG (Fiber Optic Link Around the Globe), на базе преимущественно подводных и частично подземных ВОЛС. Общая протяженность линий составляет 275000 км, 264 оконечные станции (VWR) построены в 174 странах. Параметры: 10 Гбит/с, 16-канальное спектральное уплотнение (DWDM).

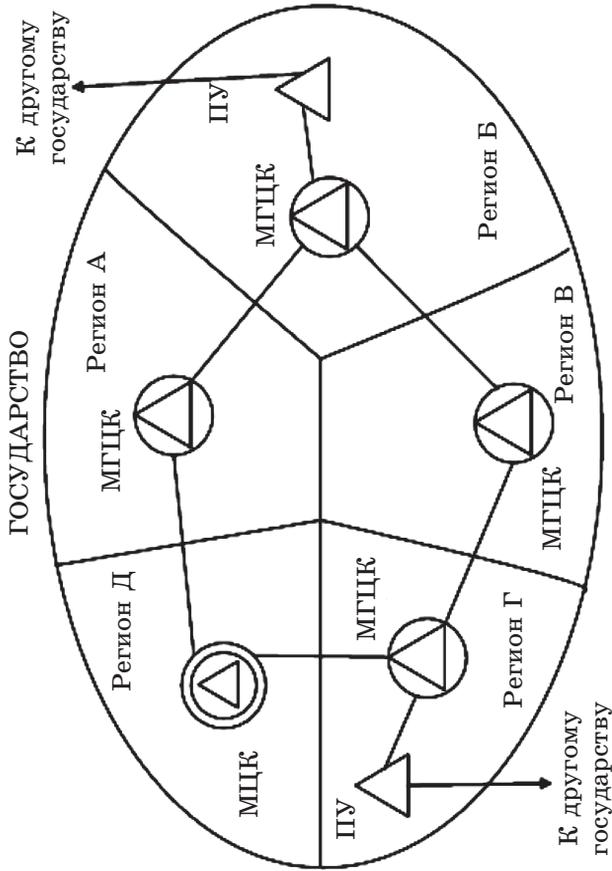
В подводных кабелях размещается четыре пары ОВ. Итоговая скорость передачи составляет 640 Гбит/с, а число телефонных каналов 7680000. Надземные кабели содержат по 12 ОВ, объем передаваемой по ним информации 3,2 Тбит/с, число ОЦК 23 млн.

Национальная (магистральная) транспортная сеть – сеть телекоммуникаций данной страны, обеспечивающая связь между абонентами внутри страны и выход на международную сеть (рис. 1.10).

Транспортные сети этого уровня соединяют между собой областные центры и крупные города со столицей страны.

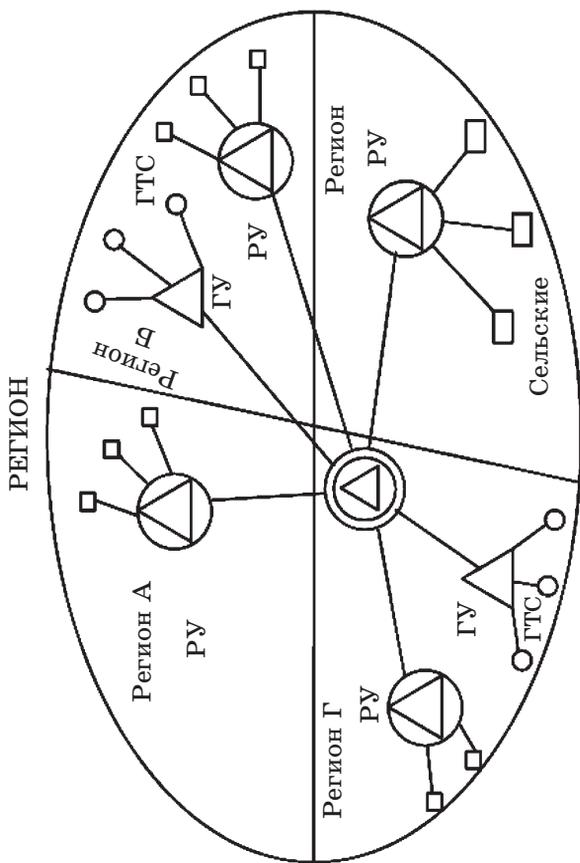
В сети этого уровня обычно применяются любые топологии: «точка–точка», «последовательная линейная цепь», «кольцо», «звезда». Пропускная способность этого уровня DWDM, STM-16, STM-4. На магистральном уровне решающими остается большая пропускная способность и возможность ее быстрого увеличения по мере роста объемов трафика, а также возможность поддерживать различные протоколы передачи данных.

В Республике Узбекистан роль транспортной сети национального уровня выполняет национальный сегмент ТАЕ ВОЛС – топология «последовательная линейная цепь».



МЦК – международный центр коммутации
 МГЦК – межгородской центр коммутации
 ПУ – пограничный узел

Рис. 1.10. Национальная транспортная сеть



ГУС – городской узел связи
 РУС – районный узел связи

Рис. 1.11. Региональные (зональные) транспортные сети

На сети имеется четыре междугородных центра коммутации МГЦК, расположенных в трех сетевых узлах связи (СУС) Пахты, Бухары, Булунгура, а также МТС Коканда. Четыре узла соединены по принципу «каждый с каждым». К каждому узлу подключены региональные станции. Для внешнего выхода на страны СНГ на сети предусмотрено пять «пограничных» узлов в МТС Андижана, СУС Денау, СУС Бухары, МТС Нукуса и СУС Пахты, соответственно для связи с Кыргызстаном, Таджикистаном, Туркменией и Казахстаном.

Региональные (зоновые) транспортные сети – охватывают территорию края или области и соединяют между собой областной центр с райцентрами и крупными населенными пунктами области (рис. 1.11).

Особенность данного уровня – сложная сетевая архитектура, большое число сетевых узлов коммутации трафика, возможность поддерживать различные протоколы передачи данных. Пропускная способность региональных транспортных сетей STM-4, STM-1.

Местная транспортная сеть подразделяется на СТС и ГТС.

СТС охватывает территорию сельского административного района.

ГТС располагается на территории города и предназначена для связи между собой специализированных сетей доступа.

АТС городской телефонной сети, сотовых сетей связи (ССС), а также центров коммутации сетей передачи данных (CGL) в пределах города.

Пропускная способность сети доступа СТС–STM-1, ГТС–CWDM, DWDM, STM-64, STM-16, STM-4.

Подключение абонентов специализированных сетей доступа к транспортной сети осуществляется через специализированные узлы коммутации. Узлы коммутации должны соединяться между собой, как в пределах одного города (сельского административного района), так и между городами. Для соединения специализированных

узлов коммутации (АТС ТФОП, центров коммутации ССС и СПД) необходимы соединительные линии между этими узлами, которые организуются с использованием каналов и трактов систем передач, в зависимости от объема информации, требований к скорости доставки этой информации.

До появления технологии транспортных сетей связь между АТС (декадно-шаговыми, координатными) производилась по аналоговым или цифровым соединительным линиям, которые организовывались несколькими способами (рис. 1.12):

1) Соединительные линии по физическим параметрам низкочастотного телефонного кабеля типа ТПП, ТГ;

2) По каналам ТЧ аналоговых систем передачи (системы передачи кабельных (К-60П, КАМА) и радиорелейных линий (КРР));

3) По трактам ЦСП РДН (ИКМ-30; ИКМ-120; ИКМ-480).

Все соединительные линии работали отдельно друг от друга, не было управления и контроля соединительных линий (СЛ), не обеспечивалось требуемое качество передачи сигналов по СЛ, соответственно не было единого центра контроля и управления межстанционными связями на ГТС.

Примером построения такой сети ГТС может быть сеть из 5 АТС (рис 1.12.), где АТС-1,2 – координатные, АТС-4,5 – цифровые, АТС-3 – декадно-шаговая. Структура сети межстанционных соединительных линий обеспечивает соединение АТС между собой по принципу «каждая с каждой».

Соединительные линии между АТС до реконструкции были организованы с использованием аналоговых и цифровых систем передачи. Эти системы передачи работали по электрическим кабелям:

КАМА – по высокочастотным кабелям типа МКС, ВТСПБ, КСППБ;

К-60П – по высокочастотным кабелям типа МКС;

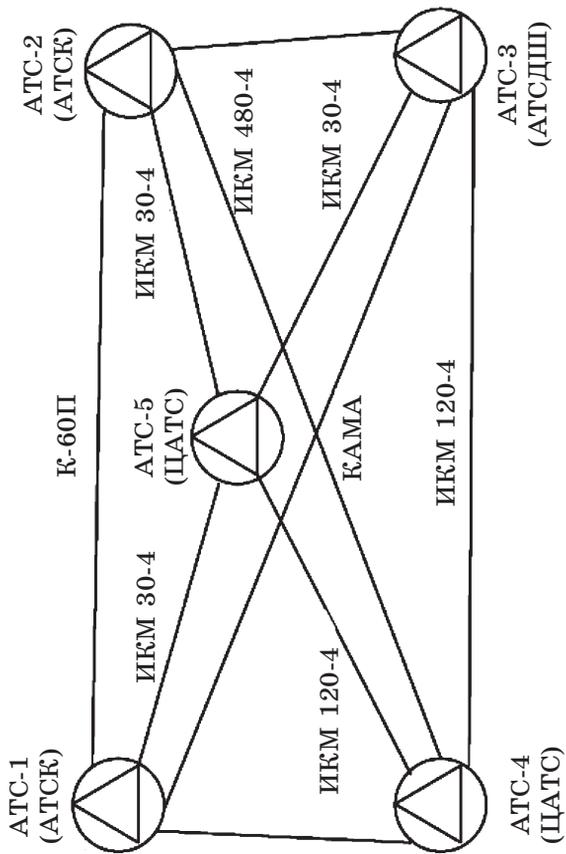


Рис 1.12. Городская телефонная сеть до реконструкции

ИКМ-30-4 – по высокочастотным симметричным кабелям типа ТПП;

ИКМ-120-4 – по высокочастотным симметричным кабелям типа МКС;

ИКМ-480-4 – по малогабаритным коаксиальным кабелям типа МКТ.

Для организации цифровых трактов между аналоговыми и цифровыми АТС, в ЛАЦ АТСК, АТСДШ устанавливаются первичные цифровые мультиплексоры MUX 2М, формирующие из аналоговых сигналов абонентов.

Сегодня в крупных городах Узбекистана используются местные транспортные сети с использованием технологии SDH, которые организуют соединительные линии по цифровым трактам транспортной сети. При этом транспортные сети городов организуются по кольцевой топологии.

Для организации соединительных линий на местной транспортной сети на каждой АТС устанавливается синхронный цифровой мультиплексор ADM с функциями ввода/вывода цифровых трактов. Эти мультиплексоры соединяются между собой синхронными оптическими линейными трактами с использованием ВОК.

Каждая АТС должна иметь свой доступ (тракты доступа) к транспортной сети. Для этого каждый синхронный цифровой мультиплексор (SDM) имеет каналы доступа (трибутарные входы), соответствующие определенному уровню иерархии SDH и PDH. АТС через соответствующие цифровые тракты (Е-1, Е-3, Е-4) подключаются к трибутарным входам ADM.

Модель городской транспортной сети SDH состоит из четырех коммутационных узлов (рис. 1.13). К узлу 1 подключается цифровая ЦАТС, к узлу 2 – аналоговая координатная АТСК, к узлу 3 – коммутационная станция сотовой подвижной сети связи, к узлу 4 – маршрутизатор (router) локальной вычислительной сети (LAN). На каждом узле коммутации для организа-

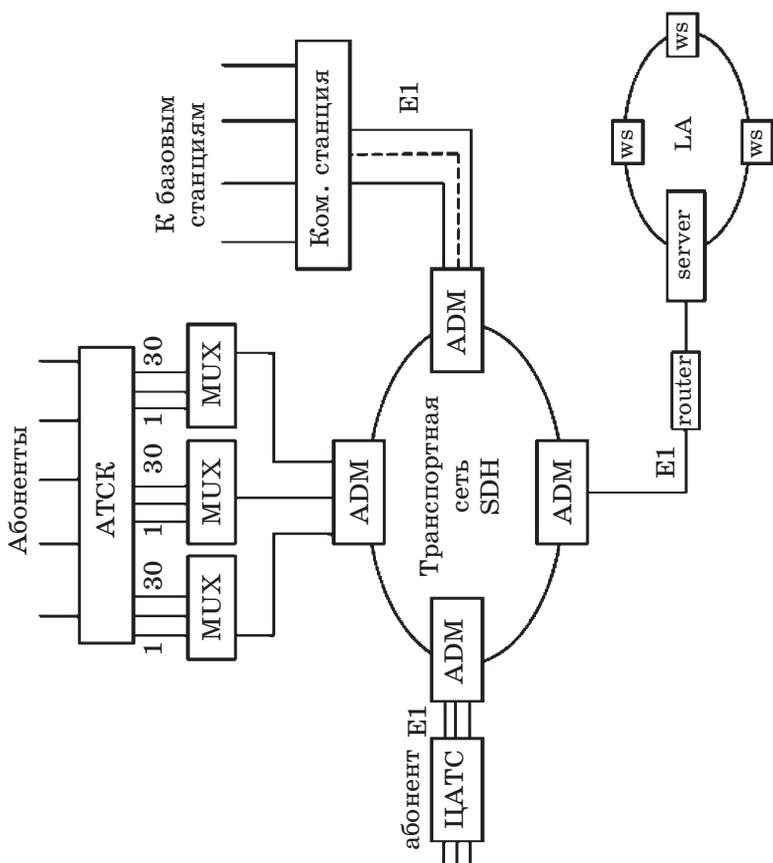


Рис 1.13. Местная городская транспортная сеть

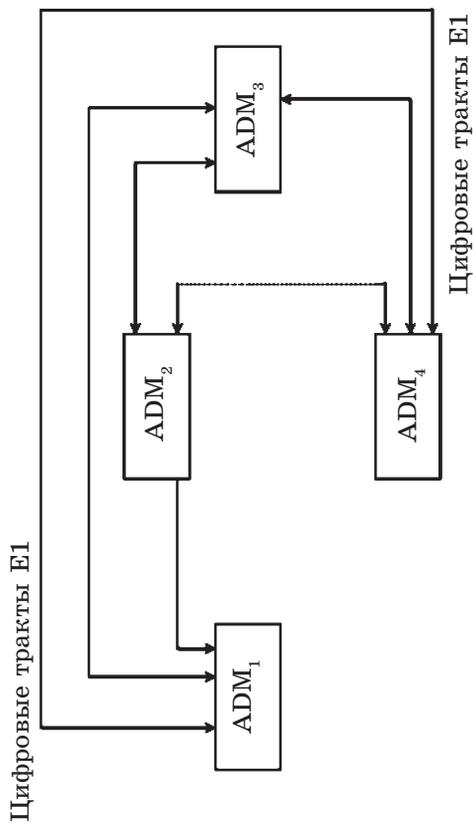


Рис 1.14. Информационный уровень местной транспортной сети

ции транспортной сети установлены ADM ввода/вывода цифровых трактов иерархии PDH 2М.

Возможны следующие варианты доступа сигналов АТС в транспортную сеть через трибы SDM.

1) Цифровая АТС сама формирует цифровые тракты PDH, как правило уровня 2М(Е1), и эти тракты подключаются сразу к трибам 2М SDM.

2) Аналоговая АТС (декадно-шаговая, координатная) имеет на своих выходах аналоговые СЛ. Для доступа АТС в транспортную сеть должно быть установлено оборудование объединения аналоговой АТС с цифровой транспортной сетью. Таким оборудованием являются первичные мультиплексоры PDH-MUX 2М.

Коммутационные станции ССС и маршрутизаторы ЛВС на своих выходах сразу же формируют цифровые потоки иерархии PDH, необходимые для подключения к трибутарным входам SDM.

Хотя на физическом уровне данная транспортная сеть имеет кольцевую структуру, на информационном уровне транспортная сеть с помощью цифровых трактов Е-1 обеспечивает связь по принципу «каждый узел с каждым узлом» (рис. 1.14).

1.4. Перспектива развития сетей

Управление телекоммуникационными ресурсами (Telecommunication Management) – новое направление на рынке связи Узбекистана, призванное обеспечить экономию средств за счет сокращения затрат на реконфигурацию, мониторинг, тарификацию (биллинг), инвентаризацию, техническое обслуживание и обеспечение безопасности элементов сети путем централизации указанных функций. Реализация данных решений обеспечит стабильность функционирования сети и, как следствие, высокое качество обслуживания абонентов. Сети нового поколения (NGN), основанные на пакетной передаче данных, обеспечивают расширение спектра сервисов, доступных для конечного пользователя. Вы-

полнение этой задачи возможно путем повышения пропускной способности и эффективности использования существующих каналов связи, а также обеспечения гарантированного сервиса доставки. Развертывание сетей NGN дает операторам связи конкурентные преимущества на рынке телекоммуникационных услуг за счет расширения абонентской базы и повышения качества обслуживания, предоставления новых сервисов. Кроме того, развитие транспортной сети на базе NGN позволит экономить вложения при построении сети управления телекоммуникационными ресурсами.

Развитие технологии Ethernet привело к появлению нового транспорта – PoS (Pocket over SDH/SONET), или New Gen SDH (NG SDH). Это сочетание технологий Ethernet и SDH/SONET. Такая технология характеризуется высочайшей надежностью и управляемостью сети IP, что позволяет предоставлять все необходимые услуги передачи пакетного трафика.

Еще одно направление развития IP-сетей – это использование оптических кабелей в качестве среды передачи непосредственно. Наращивание скорости передачи до 1 или 10 Гбит/с подразумевает использование оптических технологий и создание так называемого Optical Ethernet. Наибольшее распространение получил в городах, обусловленный большим потребительским спросом на широкополосные услуги. Но даже с учетом большой полосы пропускания каналов такая IP-сеть несет в себе все недостатки «младших» Ethernet.

Дальнейшее развитие IP-сетей приведет к созданию MPLS. Технология MPLS должна была снизить нагрузки на маршрутизаторы и адаптировать IP-сети к разнородному трафику данных. Она соединяла сеть IP и ATM и стала одной из технологий транспортного уровня NGN. Технология MPLS заключается в том, что устройства опорной сети передают пакеты только с использованием меток и не анализируют заголовки IP-пакетов. В точке выхода метки удаляются, пакеты передаются в пункт назначения. Таким образом ускоряется

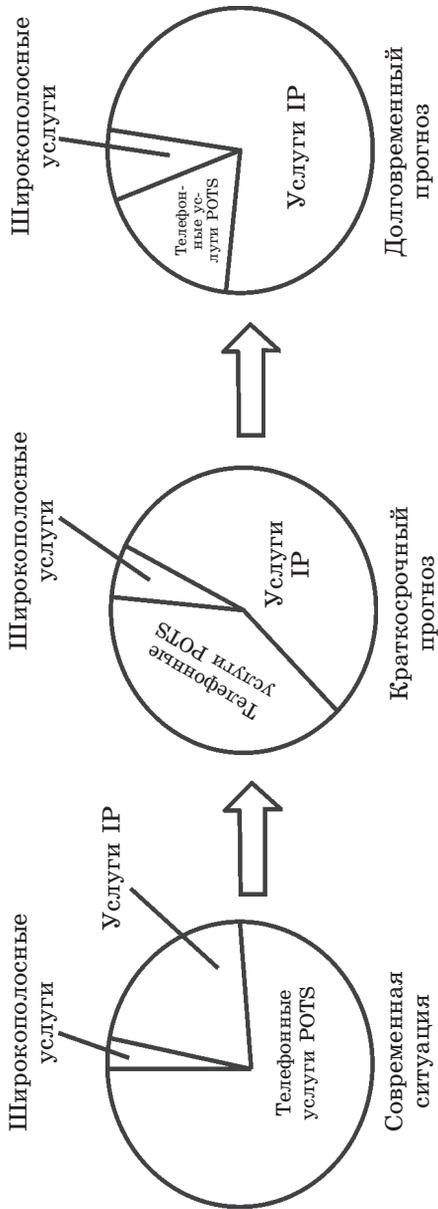


Рис. 1.15. Тенденция развития телекоммуникационных услуг

коммутация пакетов в узлах сети, дифференцируется трафик и поддерживается сквозное качество услуг IP-сети. Технология MPLS позволяет строить множество виртуальных частных IP-сетей с изолированной системой IP-адресации на базе единой транспортной сети.

В перспективном будущем телекоммуникационные сети будут представлять мультимедийную подсистему на базе протокола IP – IMS (IP Multimedia Subsystem). Мультимедийность архитектуры дает возможность оператору предоставлять разнообразные услуги абонентам.

Дальнейшее развитие телекоммуникационных сетей связано с использованием концепции NGN. АК «Узбектелеком» активно:

- развивает мобильные сети CDMA-450 с внедрением технологии EV-DO в регионах Республики Узбекистан;

- развивает оптические сети широкополосного доступа по технологии FTTx;

- в целях повышения надежности и живучести телекоммуникационной сети и увеличения ее пропускной способности до 100 Гбит/с устанавливается оборудование систем передачи на базе технологии DWDM/SDH/IP/MPLS, OTN для обеспечения полного резервирования действующей транспортной сети АК «Узбектелеком»;

- выполняет подключение колледжей к сети «Электронное образование Республики Узбекистан».

1.5. Логарифмические единицы сигналов, используемые при передаче данных

Сигналы, используемые для передачи сообщений, представляют собой электрические мощности, напряжение или ток, изменяющиеся во времени. Характер изменений мгновенных значений напряжения или тока сигналов однозначно соответствует передаваемым сообщениям.

Значения напряжений (токов) сигналов и помех в различных точках каналов и трактов передачи имеют величины от пиковольт (пикоампер) до десятков вольт (ампер). Мощности токов, с которыми приходится встречаться при расчетах и измерениях, имеют величины от долей пиковатта до целых ватт. Чтобы облегчить измерения и расчеты величин, значения которых размещаются в широком диапазоне (он шире диапазона длин от миллиметра до миллионов километров), и чтобы при сравнении результатов измерений или расчетов операции умножения и деления заменить соответственно сложением или вычитанием, вместо величин мощности, напряжения и тока, выраженных в ваттах, вольтах и амперах (или их долях), используют логарифмы отношения этих величин к условным величинам, принятым за отсчетные. Относительные единицы, выраженные в логарифмической форме, называются *уровнями передачи*. Уровни передачи, представляющие десятичные логарифмы отношения одноименных величин, называются *децибелами* (дБ), а представляющие натуральные логарифмы отношения одноименных величин, называются *неперами* (Нп). В настоящее время принято пользоваться децибелами.

Различают следующие уровни передачи:

1) По мощности:

$$p_{\text{ом}} = 10 \lg \frac{W_x}{W_0}, \text{ дБ}; \quad (1.1)$$

2) По напряжению:

$$p_{\text{ом}} = 20 \lg \frac{U_x}{U_0}, \text{ дБ}; \quad (1.2)$$

3) По току:

$$p_{\text{от}} = 20 \lg \frac{I_x}{I_0}, \text{ дБ}. \quad (1.3)$$

В этих формулах W_x, U_x, I_x – соответственно величины кажущейся или активной мощности, напряжения, тока в рассматриваемой точке, а W_0, U_0, I_0 – величины, принятые за исходные при определении уровней передачи.

Уровни передачи по мощности ($p_{ом}$), по напряжению ($p_{ом}$) и току ($p_{от}$), определенные по формулам (1...3), называются относительными и обозначаются соответственно дБом, дБон, дБот.

Уровни передачи будут положительными, если величины мощности W_x , напряжения U_x или тока I_x будут больше исходных величин мощности W_0 , напряжения U_0 или тока I_0 . В противном случае уровни передачи будут отрицательными. Нулевое значение указанные уровни передачи будут иметь в том случае, если $W_x = W_0$, $U_x = U_0$ и $I_x = I_0$.

От логарифмических единиц (уровней в децибелах) легко перейти к абсолютным величинам мощности, напряжения или тока по следующим очевидным формулам:

$$\begin{aligned} W_x &= W_0 \cdot 10^{0,1P_{OM}}; \\ U_x &= U_0 \cdot 10^{0,05P_{OM}}; \quad I_x = I_0 \cdot 10^{0,05P_{OT}} \end{aligned} \quad (1.4)$$

В общем случае численные значения уровней передачи по мощности, напряжению и току не совпадают. Однако между ними легко установить взаимосвязь, если известны сопротивления Z_x и Z_0 на которых выделяются мощности W_x и W_0 .

Действительно,

$$\begin{aligned} p_{ом} &= 10 \lg \frac{W_x}{W_0} = 10 \lg \frac{U_x^2 |Z_0|}{|Z_x| U_0^2} = \\ &= 20 \lg \frac{U_x}{U_0} - 10 \lg \frac{|Z_x|}{|Z_0|} = p_{ОН} - 10 \lg \frac{|Z_x|}{|Z_0|}, \end{aligned} \quad (1.5)$$

или

$$p_{\text{ом}} = p_{\text{он}} + 10 \lg \frac{|Z_x|}{|Z_0|}. \quad (1.6)$$

Уровни передачи подразделяются на абсолютные и измерительные. Уровни называются абсолютными, если за исходные приняты следующие величины:

- 1) Активная мощность $W_0 = 1$ мВт;
- 2) Эффективное напряжение $U_0 = 0,775$ В;
- 3) Эффективное значение тока $I_0 = 1,29$ мА.

Если абсолютные уровни передачи определяются при сопротивлении $Z = R = 600$ Ом, то $p_{\text{м}} = p_{\text{н}} = p_{\text{т}}$, что объясняется выбором исходных величин:

$0,775\text{В} \times 1,29\text{мА} = 1$ мВА(мВт), или $0,775\text{В}/1,29\text{мА} = 600$ Ом. Абсолютные уровни передачи по мощности, напряжению и току измеряются соответственно в дБм, дБн, дБт.

Уровни передачи по току в практических расчетах и измерениях используются весьма редко.

Выражение (1.1) для относительного уровня по мощности можно представить в следующем виде:

$$p_{\text{ом}} = 10 \lg \left(\frac{\frac{W_x}{1 \text{ мВт}}}{\frac{W_0}{1 \text{ мВт}}} \right) = 10 \lg \frac{W_x}{1 \text{ мВт}} - 10 \lg \frac{W_0}{1 \text{ мВт}} = p_{\text{мх}} - p_{\text{мо}}, \quad (1.7)$$

где $p_{\text{мх}}$ – абсолютный уровень по мощности в рассматриваемой точке и $p_{\text{мо}}$ – уровень в точке отсчета. Как следует из формулы (1.7), относительный уровень по мощности равен разности абсолютных уровней мощности в точке измерения и точке, принятой за отсчетную. Аналогичным образом получается выражение для относительных уровней по напряжению:

$$p_{\text{он}} = p_{\text{нх}} - p_{\text{но}}. \quad (1.8)$$

Измерительным уровнем называется абсолютный уровень в рассматриваемой точке при условии, что в

начале тракта включен нормальный генератор, т.е. генератор синусоидальных колебаний определенной частоты с внутренним активным сопротивлением, равным 600 Ом и ЭДС, равной 1,55 В. Если входное сопротивление канала активно и равно 600 Ом, то при подключении нормального генератора на входе канала оказывается абсолютный нулевой уровень.

Если в точке канала с относительным уровнем по мощности $p_{ом1}$ известен абсолютный уровень по мощности сигнала $p_{м1}$, то в точке канала, с относительным уровнем $p_{ом2}$ абсолютный уровень мощности $p_{ом2}$ будет равен

$$p_{м2} = p_{м1} - (p_{ом1} - p_{ом2}). \quad (1.9)$$

Если в точке канала с относительным уровнем по мощности $p_{ом1}$ известна мощность сигнала W_1 , то в точке канала с относительным уровнем $p_{ом2}$ мощность сигнала равна

$$W_2 = W_1 \cdot 10^{0,1(p_{ом2} - p_{ом1})}, \text{ мВт.} \quad (1.10)$$

Канал передачи представляет собой каскадное соединение пассивных и активных четырехполюсников. При прохождении сигналов по каналам передачи имеют место потери энергии в пассивных четырехполюсниках или ее увеличение в активных. Для оценки изменений энергии сигнала в различных точках канала вводится понятие рабочего затухания и рабочего усиления.

Под рабочим затуханием четырехполюсника понимается отношение вида:

$$A_p = 10 \log \frac{W_{г}}{W_{н}} p_{г} - p_{н}, \text{ дБ,} \quad (1.11)$$

где $W_{г}$ – кажущаяся мощность, которую отдал бы источник (генератор) сигнала согласованной с ним нагрузке, $W_{н}$ – кажущаяся мощность, выделяющаяся в нагрузке четырехполюсника в реальных условиях включения.

При таком определении учитывается возможная несогласованность на входе и выходе четырехполюсника.

Рабочее усиление четырехполюсника определяется выражением вида:

$$S_p = 10 \lg \frac{W_r}{W_n}, \text{ дБ}, \quad (1.12)$$

здесь величины W_n и W_r имеют тот же смысл, что и в формуле (1.11). При проектировании и эксплуатации оборудования телекоммуникационных систем и сетей необходимо знать величины уровней сигнала в различных точках каналов и трактов передачи. Чтобы охарактеризовать изменения энергии сигнала при его передаче, пользуются диаграммой уровней – графиком, показывающим распределение уровней передачи вдоль тракта передачи.

В качестве примера на рис. 1.16 показана диаграмма уровней канала передачи, состоящего из усилителя передачи УС_{пер} с усилением, равным $S_{пер}$, трех участков линии связи (среды распространения) длиной l_1, l_2 и l_3 с затуханием, равным A_1, A_2 и A_3 , двух промежуточных усилителей УС₁ и УС₂ с усилением соответственно S_1, S_2 и усилителя приема УС_{пр} с усилением $S_{пр}$.

На диаграмме уровней отмечены характерные точки канала (тракта) передачи: вход канала с уровнем $p_{вх}$; уровень передачи равный $p_{пер} = p_{вх} + S_{пер}$, уровни приема на входе i -го усилителя $p_{при} = p_{пер} (i-1) \sim A_i$; выход канала (тракта) с уровнем $p_{вых}$ и величина защищенности от помех на входе i -го усилителя, равная

$$A_{зи} = 10 \lg \left(\frac{W_{при}}{W_{помi}} \right) = p_{при} - p_{помi}, \quad (1.13)$$

где $W_{при}$ и $W_{помi}$ – мощности сигнала и помехи на входе i -го усилителя, а $p_{при}$ и $p_{помi}$ – соответственно, уровни сигнала и помехи.

Соотношение между уровнями сигнала на входе и выходе канала определяет его остаточное затуха-

ние, которое представляет собой рабочее затухание, определяемое при условии замыкания входа и выхода канала на активные сопротивления нагрузки, соответствующие номинальным значениям входного и выходного сопротивлений канала. *Остаточное затухание равно разности между суммой всех рабочих затуханий, имеющих в канале, и суммой всех рабочих усилений:*

$$Ar = \sum A_{pi} - \sum S_{pk}. \quad (1.14)$$

Для того чтобы обеспечить нормальную работу каналов и систем передачи, величины мощностей, напряжений и токов сигналов и соответствующие им уровни нормируют; нормируют также допустимые уровни помех. При этом приходится считаться с тем, что уровни сигналов и помех в различных точках канала будут различными.

Чтобы избавиться от неопределенности, все нормируемые величины относят к точке тракта передачи с нулевым измерительным уровнем. Уровни по мощности, отнесенные к точке с нулевым измерительным уровнем, обозначают через дБм₀.

Приборы для измерения уровней передачи называются *указателями уровней* и представляют собой обычные вольтметры, измерительная шкала и входные регуляторы которых отградуированы в уровнях по мощности или напряжению. Во избежание ошибок на указателях уровней указывают напряжение, которому соответствует нулевая отметка шкалы, или величину активного сопротивления R , на которой выделяется мощность, соответствующая 1 мВт. Наибольшее распространение получили широкополосные и избирательные указатели уровней, отградуированные для $R=600$ Ом и $U_0=0,775$ В, $R=150$ Ом и $U_0=0,387$ В, $R=75$ Ом и $U_0=0,274$ В. При такой градуировке значения уровней напряжения совпадают со значениями абсолютных уровней мощности.

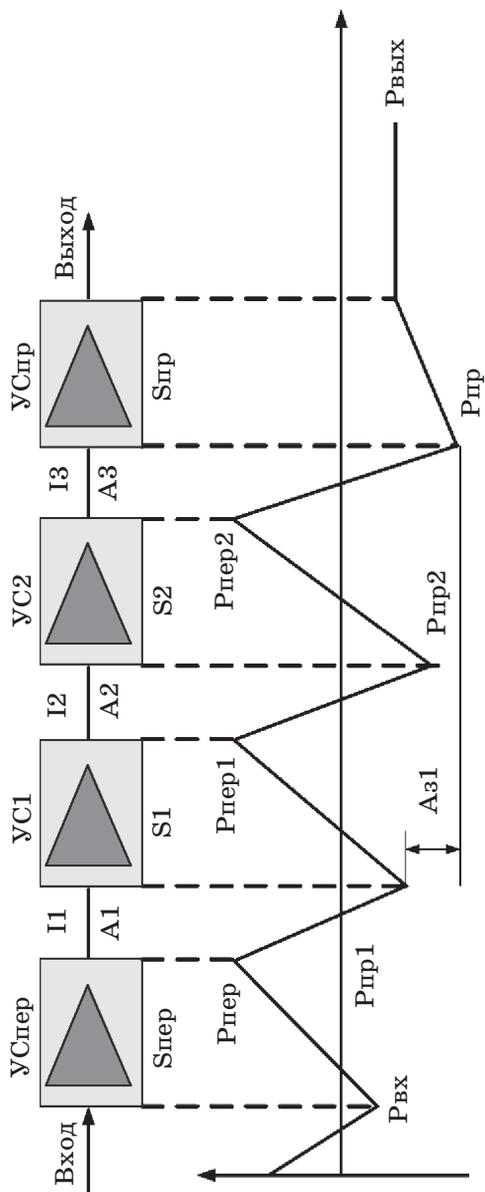


Рис. 1.16. Диаграмма уровней и ее характерные точки

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Перечислите по типу, структуре, частотным полосам и способу обмена сообщений каналы связи.
2. Объясните диаграмму частотного диапазона электромагнитных волн.
3. Какие бывают способы распространения электромагнитных волн в атмосфере?
4. Проклассифицируйте виды связи.
5. Выполните сравнительный анализ телефонной, телеграфной и факсимильной связи.
6. Дайте определение: абонент – это ...
7. Что называется телекоммуникационной сетью?
8. На какие типы, в зависимости от метода соединения, делятся абонентские терминалы?
9. Перечислите основные топологические структуры сетей.
10. Что такое телекоммуникационный узел?
11. Перечислите основные параметры узла коммутации.
12. Определите трехуровневую модель построения современных сетей связи.
13. Что такое глобальная транспортная сеть?
14. Что такое национальные транспортные сети?
15. Что такое региональные транспортные сети?
16. Что такое местные транспортные сети?
17. В чем заключается диаграмма уровней и каковы ее характерные точки?

2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

2.1. Принципы построения систем передачи

По одной и той же линии связи может быть организовано несколько каналов связи. Причем и сами каналы могут быть разных видов – аналоговые или цифровые, или и те и другие. Поэтому нельзя путать понятия линия связи и канал связи. Один и тот же канал может быть образован в процессе соединения через участки с различными направляющими средами.

Про линию нельзя сказать, что она имеет такую-то пропускную способность до тех пор, пока не будет известно во всех подробностях ее построение, структура направляющей среды, длина соединения и т.п. А если назвать канал, например телефонный канал, или канал радиовещания, то все его характеристики уже известны из рекомендаций ИТУ-Т.

Пучки каналов связи образуют ТРАКТ.

По мере развития связи в том числе и в нашей стране, стало возможным соединять абонентов не только в пределах города, региона, но и в пределах всей страны и между странами. Все местные (городские, сельские) и региональные системы связи были объединены в национальную, в рамках которой действуют единые требования к применяемым линиям связи, оборудованию на узлах и станциях, коммутирующим устройствам и т.п. И самое главное, разработаны (и непрерывно отслеживаются необходимость модернизации) требования к параметрам сигналов от различных источников или различного оборудования.

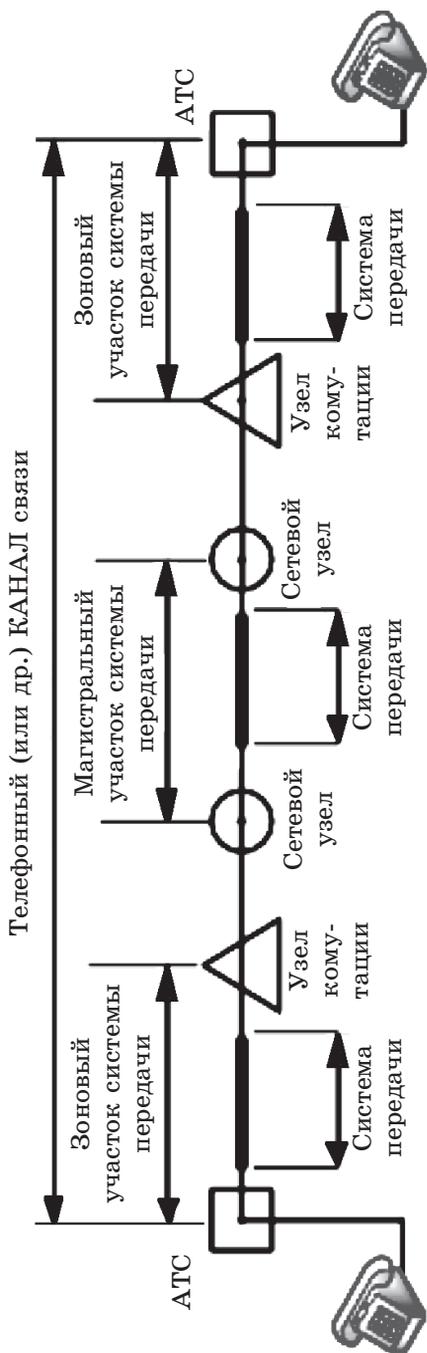


Рис. 2.1. Структура составного канала многоканальной системы передачи

Места перехода от сигналов одного вида к сигналам другого вида называют СТЫКАМИ.

Стыкование для различного оборудования, линий связи, переход на междугородние и международные линии – важнейшая и трудоемкая часть по обеспечению связи.

Национальная сеть строится по территориальному признаку. Низшая сеть – местная – городская, районная, сельская. Далее – внутрizonовая сеть – в этой сети объединяются местные сети, соединяя райцентры и города в пределах области. Как правило, внутрizonовая сеть совпадает с административным делением областей. В пределах этой сети все телефонные абоненты имеют одинаковое количество цифр в наборе номера. Структура внутрizonовой сети обычно радиальная, т.е. областной центр радиально соединяется с другими телефонными узлами на данной территории, но в настоящий момент в Узбекистане внутрizonовая телекоммуникационная сеть образуется в виде кольца.

Магистральная сеть соединяет между собой все областные центры, объединяя внутрizonовые сети в национальную сеть.

Для коммутации сообщений в сети необходимых местах строятся сетевые станции (СС) – обычно на концах линии передачи или на местах сквозного транзита, и сетевые узлы (СУ) на местах, где требуется обеспечивать коммуникацию на много направлений.

Для обеспечения передачи по транспортной сети различных видов сигналов: телефонных, телеграфных, факсимильных, передачи газет, передачи данных, телевизионного и звукового вещания, а также для автоматического управления процессами коммутации сигналов по тем или иным маршрутам, потребовалось дополнительное оборудование и дополнительные связи между различным станционным оборудованием.

Поскольку при этом используется множество различной аппаратуры, в том числе однотипной, но от разных производителей, то должны выполняться определенные требования к входным и выходным параметрам аппаратуры независимо от конкретного исполнения тем или иным производителем. Нормируются уровни входных и выходных сигналов, ширина их спектров, входные и выходные сопротивления, длины различных участков линий передач, число допустимых ошибок и т. п. Нормативные величины устанавливаются в качестве рекомендательных специальными международными организациями.

Для одновременной передачи N сигналов от N источников (пользователей) по одной и той же линии передачи эти сигналы необходимо объединить в некоторый единый сигнал, т.е. произвести обратное действие, т.е. разделение (разуплотнение).

На сегодняшний день для повышения пропускной способности функционируют следующие технологии уплотнения каналов:

- *FDM (Frequency Division Multiplexing)* – метод частотного уплотнения каналов (ЧРК);
- *TDM (Time Division Multiplexing)* – метод временного разделения каналов (ВРК);
- *MDM (Mode Division Multiplexing)* – модовое уплотнение;
- *PDM (Polarization Division Multiplexing)* – уплотнение по поляризации;
- *WDM (Wavelength Division Multiplexing)* – многоволновое уплотнение оптических несущих;
- *CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing)* – системы грубого спектрального уплотнения;
- *DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing)* – системы плотного спектрального уплотнения;
- *HDWDM (High Dense Wavelength Division Multiplexing)* – системы сверхплотного спектрального уплотнения;

– OTDM (*Optical Time Division Multiplexing*) –
оптическое временное уплотнение.

2.2. Первичные сигналы и их физические характеристики

Практически все электрические сигналы, отображающие реальные сообщения, содержат бесконечный спектр частот. Для неискаженной передачи таких сигналов потребовался бы канал с бесконечной полосой пропускания. С другой стороны, потеря на приеме хотя бы одной составляющей спектра приводит к искажению временной формы сигнала. Поэтому ставится задача передавать сигнал в ограниченной полосе пропускания канала таким образом, чтобы искажения сигнала удовлетворяли требованиям и качеству передачи информации. Таким образом, полоса частот – это ограниченный (исходя из технико-экономических соображений и требований к качеству передачи) спектр сигнала.

Ширина полосы частот ΔF определяется разностью между верхней $F_{\text{в}}$ и нижней $F_{\text{н}}$ частотами в спектре сообщения, с учетом его ограничения. Так, для периодической последовательности прямоугольных импульсов полоса сигнала ориентировочно может быть найдена из выражения:

$$\Pi = \frac{1 \dots 2}{t_n}, \quad (2.1)$$

где t_n – длительность импульса.

Первичный телефонный сигнал (речевое сообщение), называемый также абонентским, является нестационарным случайным процессом с полосой частот от 80 до 12000 Гц. Разборчивость речи определяется формантами (усиленные области спектра частот), большинство которых расположено в полосе 300...3400 Гц. Поэтому по рекомендации ИТУ-Т для телефонной

передачи принята эффективно передаваемая полоса частот 300...3400 Гц. Такой сигнал называется *сигналом тональной частоты (ТЧ)*. При этом качество передаваемых сигналов получается достаточно высоким – слоговая разборчивость составляет около 90%, а разборчивость фраз – 99%.

Сигналы звукового вещания. Источниками звука при передаче программ вещания являются музыкальные инструменты или голос человека. Спектр звукового сигнала занимает полосу частот 20...20000 Гц.

Для достаточно высокого качества (каналы вещания первого класса) полоса частот ΔF_C должна составлять 50...10000 Гц, для безукоризненного воспроизводства программ вещания (каналы высшего класса) – 30...15000 Гц., второго класса – 100...6800 Гц.

В вещательном телевидении принят метод очередного преобразования каждого элемента изображения в электрический сигнал с последующей передачей этого сигнала по одному каналу связи. Для реализации такого принципа на передающей стороне применяются специальные электронно-лучевые трубки, преобразующие оптическое изображение передаваемого объекта в развернутый во времени электрический видеосигнал.

Телевизионный сигнал является импульсным однополярным (так как он является функцией яркости, которая не может быть разнополярной) сигналом. Он имеет сложную форму, и его можно представить в виде суммы постоянной и гармонических составляющих колебаний различных частот.

Уровень постоянной составляющей характеризует среднюю яркость передаваемого изображения. При передаче подвижных изображений величина постоянной составляющей будет непрерывно меняться в соответствии с освещенностью. Эти изменения происходят с очень низкими частотами (0–3 Гц). С помощью нижних частот спектра видеосигнала воспроизводятся крупные детали изображения.

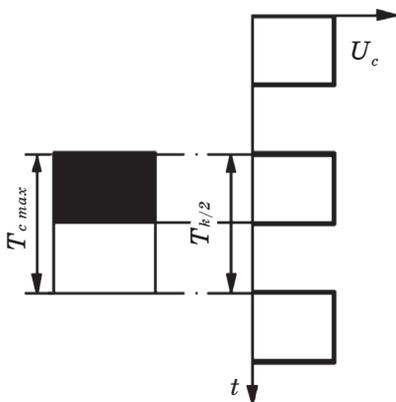


Рис. 2.2. К определению минимальной частоты спектра частот телевизионного сигнала

Телевидение, равно как и световое кино, стало возможным благодаря инерционности зрения. Нервные окончания сетчатки глаза продолжают еще какое-то время оставаться возбужденными после прекращения действия светового раздражителя. При частоте смены кадров $F_k \geq 50$ Гц глаз не замечает прерывистости смены изображения. В телевидении время считывания всех N строк (время кадра – T_k) выбирается равным $T_k = \frac{1}{25}$ с. С целью уменьшения мерцания изображения используется чересстрочная развертка. Вначале за время полукадра, равное $T_{п/к} = \frac{T_k}{2} = \frac{1}{50}$ с, считываются поочередно все нечетные строки, затем, за такое же время – все четные строки. Частота спектра видеосигнала получится при передаче изображения, представляющего собой сочетание светлой и темной половины раstra (рис. 2.2). Сигнал представляет собой импульсы близкие по форме к прямоугольной. Минимальная частота этого сигнала при чересстрочной развертке частоте полей, т.е. сигнал представляет собой импульсы близкие по форме к прямоугольной. Минимальная частота этого сигнала при чересстрочной развертке частоте полей, т.е.

$$f_n = \frac{1}{T_{c \max}} = \frac{1}{T_k/2} = F_{c \min} = 50 \text{ Гц.} \quad (2.2)$$

При передаче 25 кадров в секунду с 625 строками в каждом номинальное значение частоты разложения

по строкам (частота строк) равно 15,625 кГц. Верхняя частота телевизионного сигнала будет равна 6,5 МГц (рис. 2.3).

Факсимильные сигналы. Факсимильная (фототелеграфная) связь – это передача неподвижных изображений (рисунков, чертежей, фотографий, текстов, газетных полос и так далее). Устройство преобразования факсимильного сообщения (изображения) преобразовывает световой поток, отражаемый от изображения, в электрический сигнал.

При передаче чередующихся по яркости элементов сигнал приобретает вид импульсной последовательности. Частоту следования импульсов в последовательности называют *частотой рисунка*. Максимального значения частота рисунка, Гц, достигает при передаче изображения, элементы и разделяющие их промежутки которого равны размерам развертывающего луча:

$$F_{\text{рисмах}} = \frac{1}{2\tau_u}, \quad (2.3)$$

где τ_u – длительность импульса, равная длительности передачи элемента изображения, которую можно определить через параметры развертывающего устройства.

Так, если $\pi \cdot D$ – длина строки, а S – шаг развертки (диаметр развертывающего луча), то в строке $\pi \cdot D/S$ элементов. При N оборотах в минуту барабана, имеющего диаметр D , время передачи элемента изображения, измеряемое в секундах:

$$F_{\text{рисмах}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{120 \cdot S}. \quad (2.4)$$

Для выполнения удовлетворительной по качеству фототелеграфной связи достаточно передавать частоты от $F_{\text{рисмин}}$ до $F_{\text{рисмах}}$. ИТУ-Т рекомендует для факсимильных аппаратов $N=120, 90$ и 60 об/мин; $S=0,15$ мм; $D=70$ мм. Из (2.2) и (2.3) следует, что при $N=120$

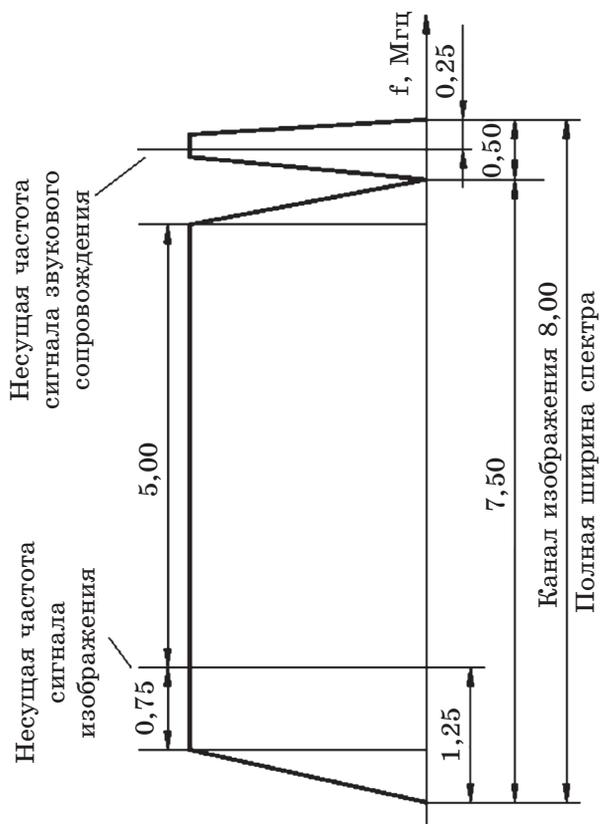


Рис. 2.3. Размещение спектров сигналов изображения и звука в радиоканале телевизионного вещания

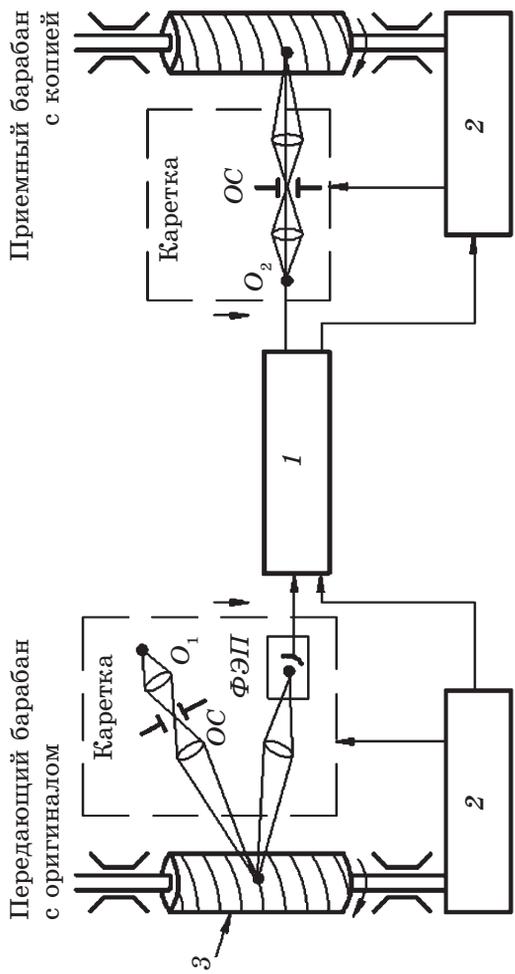


Рис 2.4. Функциональная схема факсимильной связи:

1 – канал факсимильной связи; 2 – привод синхронизирующие и фазирование устройства; 3 – передающий барабан, на который помещается оригинал передаваемого изображения на бумажном носителе; ФЭП – фотоэлектронный преобразователь отраженного светового потока в электрический сигнал; ОС – оптическая система для формирования светового луча

$F_{\text{рисmax}} = 1466$ Гц; $F_{\text{рисmin}} = 2$ Гц; при $N=60$ $F_{\text{рисmax}} = 733$ Гц; $F_{\text{рисmin}} = 1$ Гц; динамический диапазон факсимильного сигнала составляет 25 дБ.

Телеграфные сигналы и сигналы передачи данных. Сообщения и сигналы телеграфии и передачи данных относятся к дискретным. Устройства преобразования телеграфных сообщений и данных представляют каждый знак сообщения (букву, цифру) в виде определенной комбинации импульсов и пауз одинаковой длительности. Импульс соответствует наличию тока на выходе устройства преобразования, пауза – отсутствию тока.

Для передачи данных используют более сложные коды, которые позволяют обнаруживать и исправлять ошибки в принятой комбинации импульсов, возникающие от действия помех.

Устройства преобразования сигналов телеграфии и передачи данных в сообщения по принятым комбинациям импульсов и пауз восстанавливают в соответствии с таблицей кода знаки сообщения и выдают их на печатающее устройство или экран дисплея.

Чем меньше длительность импульсов, отображающих сообщения, тем больше их будет передано в единицу времени. Величина, обратная длительности импульса, называется *скоростью телеграфирования*: $V=1/\tau_{\text{и}}$, где $\tau_{\text{и}}$ – длительность импульса, с. Единицу скорости телеграфирования назвали *бодом*. При длительности импульса $\tau_{\text{и}}=1$ с скорость $V=1$ Бод. В телеграфии используются импульсы длительностью 0,02 с, что соответствует стандартной скорости телеграфирования 50 Бод. Скорости передачи данных существенно выше (200, 600, 1200 Бод и более).

Сигналы телеграфии и передачи данных обычно имеют вид последовательностей прямоугольных импульсов.

При передаче двоичных сигналов достаточно зафиксировать только знак импульса при двуполярном сигнале либо наличие или отсутствие – при однополярном сигнале. Импульсы можно уверенно зафиксировать,

если для их передачи используется ширина полосы частот, численно равная скорости передачи в бодах. Для стандартной скорости телеграфирования 50 Бод ширина спектра телеграфного сигнала составит 50 Гц. При скорости 2400 Бод (среднескоростная система передачи данных) ширина спектра сигнала равна примерно 2400 Гц.

Динамический диапазон сигналов

Под динамическим диапазоном D понимают отношение пиковой мощности к минимальной мощности сообщения P_{\min} . Динамический диапазон, как и пик-фактор, принято оценивать в дБ.

Максимальная мощность телефонного сигнала, вероятность превышения которой пренебрежимо мала, равна 2220 мкВт (что соответствует уровню +3,5 дБм); минимальная мощность сигнала, который еще слышен на фоне шумов, принята равной 220000 пВт (1 пВт = 10^{-12} мВт), что соответствует уровню -36,5 дБм. Динамический диапазон составляет 40 дБ.

Средняя мощность сигнала вещания (измеренная в точке с нулевым относительным уровнем) зависит от интервала усреднения и равна 923 мкВт при усреднении за час, 2230 мкВт – за минуту и 4500 мкВт – за секунду. Максимальная мощность сигнала вещания 8000 мкВт.

Динамический диапазон сигналов вещания составляет для речи диктора 25...35 дБ, для инструментального ансамбля 40...50 дБ, для симфонического оркестра до 65 дБ.

2.3. Каналы передачи и их характеристики

Канал передачи – это комплекс технических средств и среды распространения, обеспечивающий передачу сигнала электросвязи в определенной полосе частот или с определенной скоростью передачи между сетевыми станциями, сетевыми узлами или между сетевой станцией и сетевым узлом, а также

между сетевой станцией или сетевым узлом и оконечным устройством первичной сети. Каналы подразделяются на аналоговые, цифровые и смешанные (аналого-цифровые).

Канал передачи, параметры которого соответствуют принятым нормам, называют *типовым*.

Групповой тракт – это комплекс технических средств, предназначенный для передачи сигналов электросвязи нормализованного числа каналов тональной частоты или ОЦК в полосе частот или со скоростью передачи, соответствующей данному групповому тракту.

Групповой тракт, параметры и структура которого соответствуют принятым нормам, называют типовым.

Основой телекоммуникационной сети являются сетевые тракты, которые организуются между двумя сетевыми станциями (узлами) и непосредственно используются на этих станциях или предоставляются во вторичные сети. Сетевые тракты являются типовыми и организуются по единым правилам.

Сетевые тракты образуются на базе групповых трактов многоканальной системы передачи с частотным разделением каналов, которые, в свою очередь, создаются с помощью типового оборудования первичных, вторичных, третичных групп и групп более высокого порядка, а также оборудования сопряжения. Сетевые тракты могут быть получены из трактов более высоких порядков несколькими способами.

Один из способов связан с использованием типового преобразовательного оборудования. При этом тракт более высокого порядка разделяется на тракты данного порядка, часть из которых и предоставляется на этой станции потребителю, а оставшиеся включаются в транзитное оборудование станции для дальнейшей передачи по сети.

Второй способ основан на том, что сетевой тракт любого вида может быть получен посредством оборудования выделения из линейных трактов. Чаще всего этот

способ используется на обслуживаемых усилительных пунктах (ОУП) при выделении вторичных групповых трактов из линейного тракта.

Третий способ состоит в получении сетевых трактов с помощью аппаратуры выделения из трактов высшего порядка. Данный способ используется на узлах, где потребность в каналах и трактах небольшая.

Организация сетевого тракта из группового достигается подключением к его окончаниям специального оконечного оборудования (комплект образования трактов КОТ). В передающей части КОТ предусматриваются развязывающие устройства для ввода в тракт группового и вспомогательных контрольных сигналов, а также для подключения измерительных приборов. В приемную часть КОТ входят развязывающие устройства для вывода группового и вспомогательных контрольных сигналов и подключения измерительных приборов, заграждающий фильтр, препятствующий попаданию группового контрольного сигнала на выход тракта, регулирующие аттенюаторы, и амплитудный и фазовый корректоры, совмещаемые обычно с усилителями.

Сетевые тракты могут предоставляться только при условии наличия у них типового каналобразующего оборудования. В общем случае потребителю предоставляются широкополосные каналы, оборудованные на базе соответствующих сетевых трактов.

Стандартный канал ТЧ. Канал тональной частоты (ТЧ) является единицей измерения емкости аналоговых систем передачи и используется для передачи телефонных сигналов, а также сигналов данных, факсимильной и телеграфной связи, в нормализованной эффективно передаваемой полосе частот 300...3400 Гц. Каналы ТЧ образуются с помощью как СП с ЧРК, так и ЦСП с ИКМ. В цифровых системах передачи аналоговым является основной цифровой канал (ОЦК) со скоростью передачи 64 Кбит/с.

В соответствии со специфическими особенностями этих систем некоторые параметры образуемых ими каналов ТЧ также различны.

Упрощенная схема организации канала ТЧ приведена на рис. 2.5.

Телефонный канал включает в себя двухпроводное окончание и четырехпроводный тракт. *Дифсистема (ДС)* служит для перехода с четырехпроводного тракта к двухпроводному окончанию. Удлинитель в двухпроводном окончании имеет затухание 3,5 дБ и называется *транзитными*. Характеристики канала ТЧ нормируются рекомендациями ИТУ-Т серии М.

Нормированные (номинальные) измерительные уровни в стандартных точках канала ТЧ составляют: на входе канала 0 дБм, на выходе транзитного удлинителя -3,5 дБм, на входе четырехпроводного тракта -13 дБм, на выходе четырехпроводного тракта +4,3 дБм, на входе транзитного удлинителя -3,5 дБм и на выходе канала -7 дБм на частоте 800 Гц (1020 Гц для каналов, образованных ЦСП).

Эффективно передаваемая полоса частот канала 0,3...3,4 кГц. Средняя длительная мощность сигналов, передаваемых по каналу ТЧ, должна быть не более 32 мкВт, а максимальная, определенная с вероятностью превышения 10^{-3} , примерно 1250 мкВт0. Номинальное значение остаточного затухания канала $A_{\text{ост}} = 7$ дБ при двухпроводном и $A_{\text{ост}} = -17$ дБ при четырехпроводном окончаниех.

Для передачи сигналов, имеющих более широкую полосу, чем сигналы ТЧ (например, сигналы радиовещания, телевидения и так далее), или требующих скорость передачи большую, чем 64 Кбит/с, с помощью систем передачи создаются широкополосные или высокоскоростные цифровые каналы.

Широкополосные каналы получают подключением к окончаниям сетевых трактов каналообразующего оборудования (КФО), в состав которого входят полосовые фильтры для формирования канала, заг-

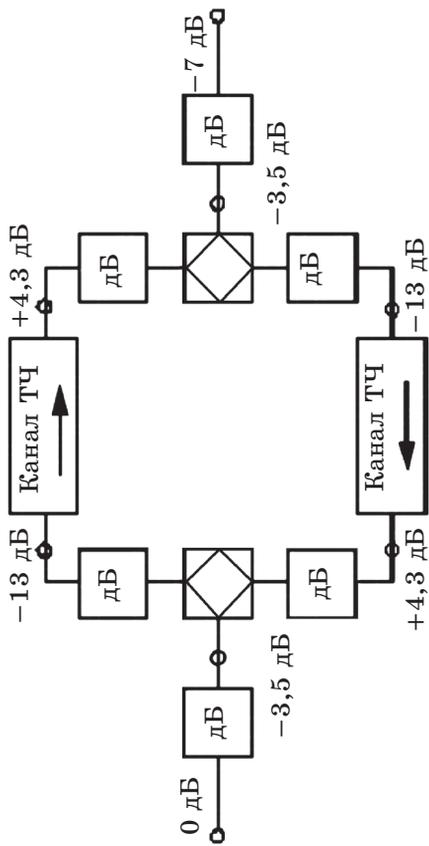


Рис. 2.5. Упрощенная схема организации канала ТЧ

раждающие фильтры для подавления широкополосного сигнала в полосе частот приемников группового контрольного сигнала и частот сетевого контроля, устройства амплитудного ограничения и амплитудно-частотной коррекции, регулирующей attenuator. Каналообразующее оборудование является единым при передаче по широкополосному каналу сигналов различных сообщений.

Широкополосным каналам, образованным на базе типовых групповых трактов, присваивают наименование одноименного группового тракта. Соответственно различают:

- предгрупповой широкополосный канал с полосой частот 12...24 кГц на основе трех каналов ТЧ;
- первичный широкополосный канал (ПШК) с полосой частот 60...108 кГц на основе 12 каналов ТЧ;
- вторичный широкополосный канал (ВШК) с полосой частот 312...552 кГц на основе 60 каналов ТЧ;
- третичный широкополосный канал (ТШК) с полосой частот 812...2044 кГц на основе 300 каналов ТЧ;

В зависимости от полосы частот первичных сигналов, которые нужно передать, выбирается тот или иной широкополосный канал.

В ЦСП не предусмотрено специальное оборудование для организации сетевых трактов. Групповой цифровой поток, сформированный на данной ступени иерархии, направляется либо на следующую ступень временного объединения потоков, либо на оборудование линейного тракта. Точки соединения оборудования двух смежных ступеней иерархии называют сетевыми стыками (СС). Параметры СС являются типовыми.

Аппаратура цифровых плезиохронных систем передачи (ЦСП PDH) – европейский стандарт, обеспечивает создание типовых цифровых каналов передачи со следующими градациями скоростей, Кбит/с: основной цифровой канал (ОЦК) – 64; субпервичный канал (СЦК) – 480; первичный тракт – 2048; вторичный тракт – 8448; третичный тракт – 34368; четверичный

тракт – 139264. Кроме того, на базе данных цифровых каналов и трактов должны образовываться следующие типовые аналоговые каналы и тракты: канал ТЧ (на базе ОЦК), канал звукового вещания (на базе СЦК), вторичный групповой тракт (на базе трех первичных цифровых групповых трактов – ЦГТ) и, наконец, канал ТВ со звуковым сопровождением (на базе трех третичных ЦГТ).

В сетевых стыках должна осуществляться передача не только информационных (ИС), но и тактовых (ТС) сигналов, обеспечивающих тактовую синхронизацию регенераторов и приемного генераторного оборудования оконечных станций. Имеющиеся в составе цифровых потоков служебные символы (цикловой и сверхцикловой синхронизации) обеспечивают доступ к составляющим цифровых потоков низших ступеней иерархии. Исключение составляет ОЦК, в котором таких символов нет. По этой причине в него вводят октетный сигнал (ОС), позволяющий разделять восьмиразрядные кодовые группы. Таким образом, в СС ОЦК осуществляется обмен не только ИС и ТС, но и ОС.

В американской системе PDH предусмотрены следующие градации скоростей (уровней иерархии), Кбит/с: основной цифровой канал (ОЦК) – 64; первый уровень – 1544; второй уровень – 6312; третий уровень – 44736 [5].

Чтобы создать единую цифровую сеть и удовлетворить как американским требованиям, так и европейским, предусматривающим передачу сигнала на скорости 139,268 Мбит/с, был определен основной иерархический уровень новой структуры синхронного мультиплексирования, равный 155, 520 Мбит/с, что является результатом умножения в три раза скорости 51,84 Мбит/с ($51,84 \times 3 = 155,520$).

Все уровни мультиплексирования в синхронных цифровых системах (SDH) являются положительными

ми целыми кратными числами этого базового сигнала SNM-1 (синхронный базовый модуль-1).

Таким образом, была выработана единая всемирная концепция, касающаяся передачи сигналов, данных со скоростью 155 Мбит/с. Это означает, что все предыдущие PDH сигналы должны быть включены в базовый сигнал SDH при помощи процедуры, называемой «Mapping» (размещение).

Синхронное мультиплексирование, стандартизированное Рекомендациями комитета по стандартизации ITU-T, определило четыре иерархических синхронных уровня (таблица 2.1):

Таблица 2.1

Уровни иерархии	Скорость цифрового потока
STM-1	155, 520 Мбит/с
STM-4	$4 \times 155,520 = 622,080$ Мбит/с
STM-16	$16 \times 155,520 = 2\,488,320$ Мбит/с
STM-64	$64 \times 155,520 = 9\,953,280$ Мбит/с

Типовым называют канал (групповой тракт), параметры которого нормализованы.

Типовые каналы передачи аналоговых систем передачи:

- канал тональной частоты (ТЧ) – совокупность технических средств, обеспечивающая передачу сигналов в эффективно передаваемой полосе частот 300–3400 Гц;

- канал звукового вещания (высшего класса – 30–15000 Гц; первого класса: 50–10 000 Гц; второго класса: 100–6300 Гц);

- канал передачи сигналов изображения телевидения с полосой частот от 50 Гц до 6 МГц;

- канал звукового сопровождения сигналов телевидения (высшего класса: 30–15 000 Гц, 1 класса: 50–10 000 Гц);

- типовые групповые аналоговые тракты:
- первичный – 60–108 кГц (12 каналов ТЧ);
- вторичный – 312–552 кГц (60 каналов ТЧ);
- третичный – 812–2044 кГц (300 каналов ТЧ).

Типовые каналы передачи цифровых систем передачи [6]:

- основной цифровой канал (ОЦК) с номинальной скоростью передачи 64 кбит/с (канал типа В) является цифровым эквивалентом канала аналогового канала тональной частоты (ТЧ), так как обеспечивает передачу телефонного сигнала в полосе частот 300–3400 Гц методом импульсно-кодовой модуляции (ИКМ);

- цифровой канал абонентского окончания цифровой сети интегрального обслуживания (ЦСИО-ISDN):

144 кбит/с = 2–64 кбит/с + 16 кбит/с = 2В + D, где D – канал передачи данных;

- цифровые тракты плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ):

- субпервичный – 0,512 Мбит/с (8 ОВД);
- вторичный – 8,448 Мбит/с (120 ОВД);
- третичный – 34,368 Мбит/с (480 ОВД);
- четверичный – 139,264 Мбит/с (1920 ОВД);

- цифровые тракты синхронной цифровой иерархии (СЦИ) – цифровые потоки синхронных транспортных модулей (СТМ):

- поток СТМ-1 = 155,52 Мбит/с;
- поток СТМ-4 = 622,08 Мбит/с;
- поток СТМ-16 = 2 488,32 Мбит/с;
- поток СТМ-64 = 9 953,28 Мбит/с;
- поток СТМ-256 = 39 813,12 Мбит/с.

2.4. Архитектура систем передачи и распределение информации

Многоканальные системы передачи с частотным и временным разделением каналов – это сложный комплекс технических средств, включающий в себя оконечную аппаратуру, устанавливаемую на оконечных пунктах (ОП), промежуточную аппаратуру, размеща-

емую в обслуживаемых (ОУП) или необслуживаемых (НУП) усилительных пунктах, а также линий связи (рис. 2.6).

В отличие от аналоговых систем во временных (цифровых) системах на обслуживаемых и необслуживаемых пунктах устанавливается аппаратура для восстановления (регенерации) импульсных сигналов линейного тракта. Отсюда обслуживаемые и необслуживаемые пункты в этих системах принято называть регенерационными (ОРП, НРП).

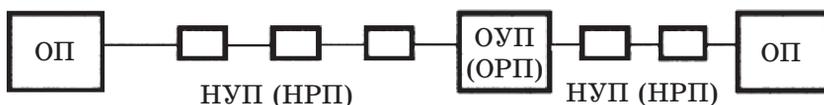


Рис 2.6. Структурная схема построения систем передачи

Поясним, для чего нужны усилительные и регенерационные пункты. Дальность передачи сигналов по физическим цепям (средам) определяется, прежде всего, затуханием (ослаблением) сигнала из-за того, что в цепи теряется часть энергии передаваемого сигнала. Конкретные электрические параметры цепи и чувствительность приемного устройства определяют допустимую дальность связи. Например, при передаче речи мощность сигнала на выходе микрофона телефонного аппарата $P_{\text{ПЕР}} = 1$ мВт, а чувствительность телефона приемного аппарата $P_{\text{ПР}} = 0,001$ мВт. Таким образом, максимально допустимое затухание цепи не должно быть больше:

$$a_{\text{max}} = 10 \lg(P_{\text{ПЕР}}/P_{\text{ПР}}) = 10 \lg(1/0,001) = 30 \text{ дБ.}$$

Зная затухание a_{max} и километрический коэффициент затухания a , можно определить дальности передачи $L = a_{\text{max}}/a$.

Аппаратура ОУП и НУП служит не только для усиления аналогового сигнала, но и для коррекции (выравнивания) амплитудно-частотных и фазочастотных характеристик линейного тракта. Аппаратура НРП и

ОРП предназначена для восстановления амплитуды, длительности и временного интервала между импульсами сигнала цифровых систем.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается принцип построения систем передачи?
2. Каковы физические характеристики первичных сигналов?
3. Каковы характеристики каналов передачи?
4. Что такое архитектура СП?

3. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ С ЧАСТОТНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

3.1. Принцип построения систем с частотным распределением каналов

Основная идея частотного метода разделения (объединения) каналов и основанная на этом методе система передачи с частотным разделением каналов (СП с ЧРК) сводится к тому, что спектр каждого канала ТЧ с помощью модулятора переносится в более высокочастотную область, и с помощью мультиплексора все каналы объединяются в общий групповой поток с различными несущими частотами. При мультиплексировании используется лишь одна боковая полоса модулированного сигнала с подавлением несущей.

Используемые методы разделения каналов (РК) можно классифицировать на линейные и нелинейные (комбинационные).

В большинстве случаев разделения каналов каждому источнику сообщения выделяется специальный сигнал, называемый канальным. Промоделированные сообщениями канальные сигналы объединяются, в результате чего образуется групповой сигнал (ГС). Если операция объединения линейна, то получившийся сигнал называют *линейным групповым сигналом*.

Для унификации многоканальных систем связи за основной или стандартный канал принимают канал тональной частоты (канал ТЧ), обеспечивающий передачу сообщений с эффективно передаваемой полосой частот 300...3400 Гц, соответствующей основному спектру телефонного сигнала.

Многоканальные системы образуются путем объединения каналов ТЧ в группы. В свою очередь, часто

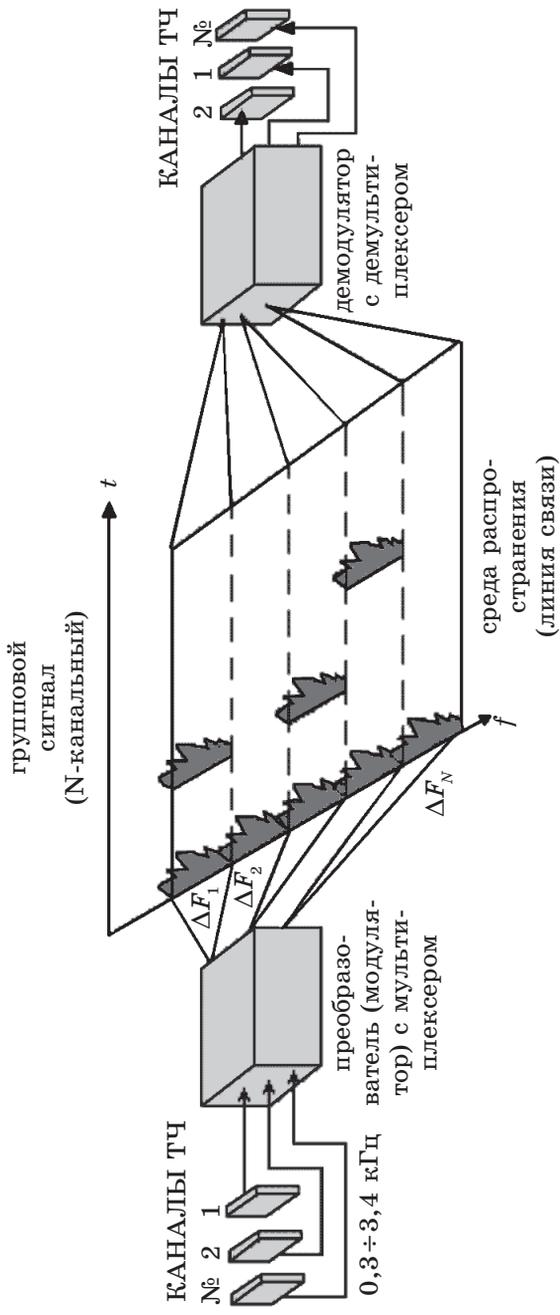


Рис. 3.1. Принцип СП с ЧРК

используют «вторичное уплотнение» каналов ТЧ телеграфными каналами и каналами передачи данных.

Реализация сообщений каждого источника $a_1(t)$, $a_2(t)$, ..., $a_N(t)$ с помощью индивидуальных передатчиков (модуляторов) M_1 , M_2 , ..., M_N преобразуется в соответствующие каналные сигналы $s_1(t)$, $s_2(t)$, ..., $s_N(t)$. Совокупность каналных сигналов на выходе аппаратуры объединения каналов (АОК) образует групповой сигнал $s(t)$. Наконец, в групповом передатчике M сигнал $s(t)$ преобразуется в линейный сигнал $s_{\text{Л}}(t)$, который и поступает в линию связи $ЛС$. Допустим, что линия пропускает сигнал практически без искажений и не вносит шумов. Тогда на приемном конце линии связи линейный сигнал $s_{\text{Л}}(t)$ с помощью аппаратуры разделения каналов (АРК) может быть вновь преобразован в групповой сигнал $s(t)$. Канальными или индивидуальными приемниками $П_1$, $П_2$, ..., $П_N$ из группового сигнала $s(t)$ выделяются соответствующие каналные сигналы $s_1(t)$, $s_2(t)$, ..., $s_N(t)$ и затем преобразуются в предназначенные получателям сообщения $a_1(t)$, $a_2(t)$, ..., $a_N(t)$.

Канальные передатчики вместе с суммирующим устройством образуют аппаратуру объединения. Групповой передатчик M , линия связи $ЛС$ и групповой приемник $П$ составляют групповой канал связи (тракт передачи), который вместе с аппаратурой объединения и индивидуальными приемниками составляет систему многоканальной связи.

Индивидуальные приемники системы многоканальной связи ПК наряду с выполнением обычной операции преобразования сигналов $s_K(t)$ в соответствующие сообщения $a_K(t)$ должны обеспечить выделение сигналов $s_K(t)$ из группового сигнала $s(t)$. Иначе говоря, в составе технических устройств на передающей стороне многоканальной системы должна быть предусмотрена аппаратура объединения, а на приемной стороне – аппаратура разделения.

Чтобы разделяющие устройства были в состоянии различать сигналы отдельных каналов, должны су-

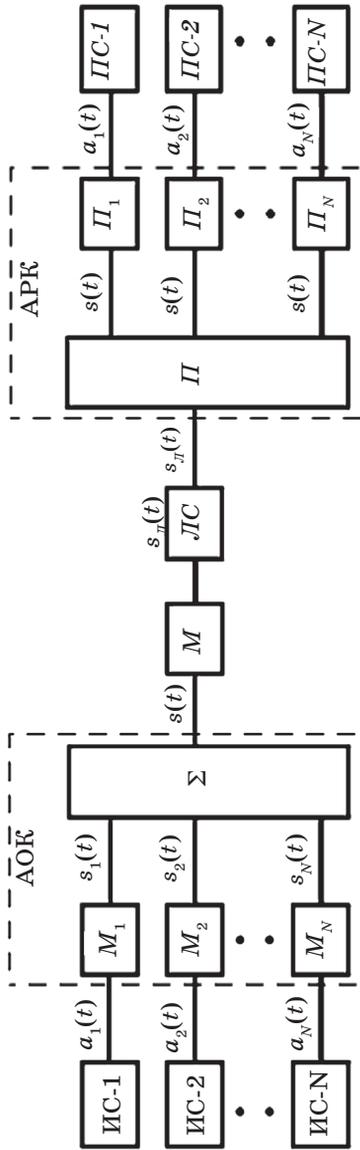


Рис 3.2. Структурная схема построения систем передачи

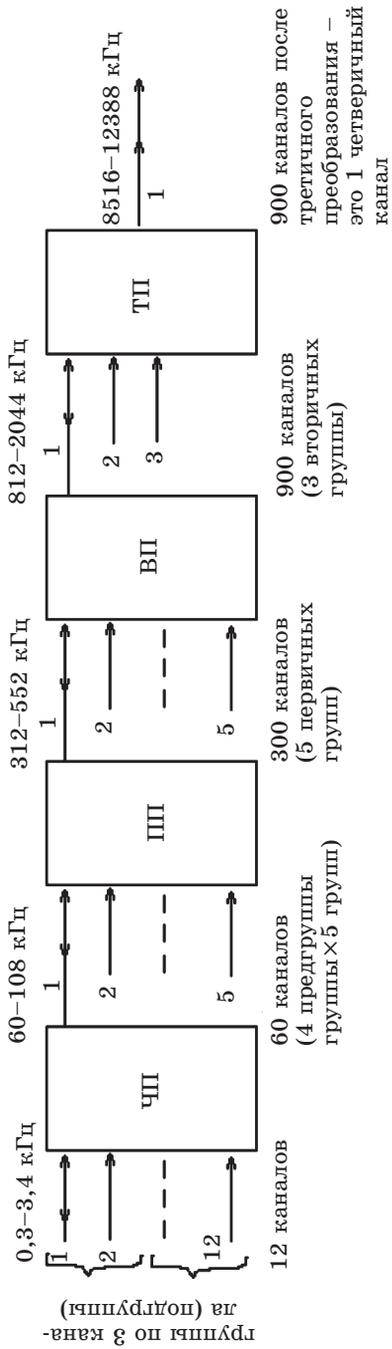


Рис. 3.3. Структурная схема группообразования в СП с ЧРК

ществовать определенные признаки, присущие только данному сигналу. Такими признаками в общем случае могут быть параметры переносчика, например амплитуда, частота или фаза в случае непрерывной модуляции гармонического переносчика. При дискретных видах модуляции различающим признаком может служить и форма сигналов. Соответственно различаются и способы разделения сигналов: частотный, временной, фазовый и другие.

Группообразование (уплотнение) каналов в системе с ЧРК носит иерархический характер. На основе каналов ТЧ с рассмотренными выше характеристиками строятся следующие групповые каналы (тракты):

Таблица 3.1

Наименование группы каналов	Диапазон занимаемых частот, кГц	Число каналов ТЧ	Число объединяемых групп
Предварительная группа (ПрГ)	12 ÷ 24	3	– (используется редко)
Первичная группа (ПГ)	60 ÷ 108	12	4 ПрГ
Вторичная группа (ВГ)	312 ÷ 552	60	5 ПГ
Третичная группа (ТГ)	812 ÷ 2044	300	5 ВГ
Четверичная группа (ЧГ)	8516 ÷ 12388	900	3 ТГ

3.2. Принципы формирования канальных сигналов

Функциональная схема простейшей системы многоканальной связи с разделением каналов по частоте представлена на рисунке 3.4.

Для обозначения принципа частотного разделения каналов (ЧРК) используется термин Frequency Division Multiply Access (FDMA).

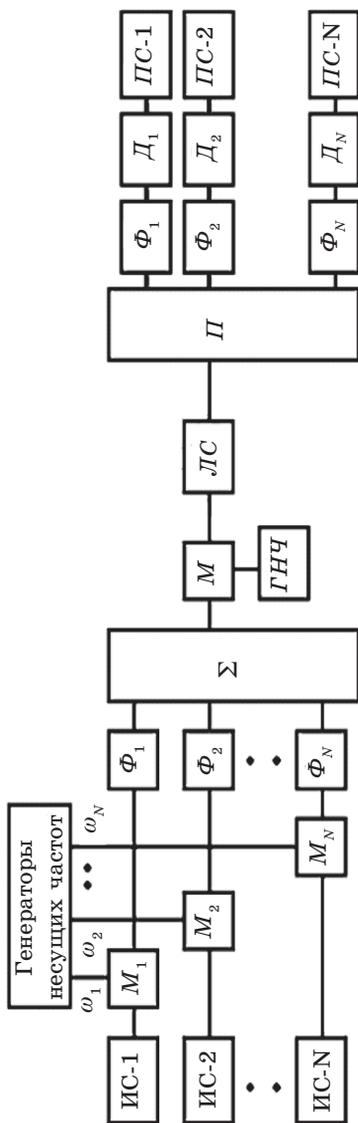


Рис. 3.4. Функциональная схема многоканальной системы с частотным разделением каналов

Сначала в соответствии с передаваемыми сообщениями первичные (индивидуальные) сигналы, имеющие энергетические спектры $G_1(\omega)$, $G_2(\omega)$, ..., $G_N(\omega)$ модулируют поднесущие частоты ω_K каждого канала соответственно. Эту операцию выполняют модуляторы M_1 , M_2 , ..., M_N канальных передатчиков.

Модуляторы – это четырехполюсники с нелинейной амплитудной характеристикой, которая в общем случае аппроксимируется полиномом n -ой степени.

Если предположить, что в сигнале с частотой Ω содержится информация, то она будет иметь место и в сигналах с частотами $(\omega_H + \Omega) - (\omega_H - \Omega)$, которые расположены зеркально по отношению к ω и называются верхней $(\omega + \Omega)$ нижней $(\omega - \Omega)$ боковыми частотами.

Если на четырехполюсник подать сигнал несущей частоты $U_1(t) = U_m \omega \cdot \cos \omega_H t$ и сигнал тональной частоты в полосе $\Omega_H \dots \Omega_B$ (где $\Omega_H = 0,3$ кГц, $\Omega_B = 3,4$ кГц), то спектр сигнала на выходе четырехполюсника будет иметь вид (рис. 3.5).

Полезными продуктами преобразования (модуляции) являются верхняя и нижняя боковые полосы. Для восстановления сигнала на приеме на вход демодулятора достаточно подать несущую частоту (ω_H) и одну из боковых полос.

В многоканальных системах передачи с частотным разделением каналов по каналу передается только сигнал одной боковой полосы, а несущая частота берется от местного генератора. Таким образом, на выходе каждого канального модулятора включается полосовой фильтр с полосой пропускания $\Delta\omega = \Omega_B - \Omega_H = 3,1$ кГц. Спектры $G_1(\omega)$, $G_2(\omega)$..., $G_N(\omega)$ после транспонирования (переноса) на различные частотные интервалы и инвертирования (эта операция в принципе необязательна, но обычно выполняется для упрощения оборудования) складываются и образуют групповой спектр $G_{гр}(\omega)$.

С целью уменьшения влияния соседних каналов (уменьшения переходных помех), обусловленного неидеальностью АЧХ фильтров, между спектрами сиг-

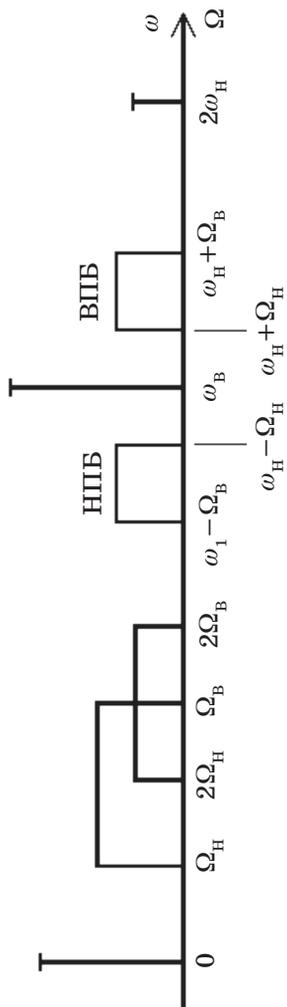


Рис. 3.5. Спектр сигнала на выходе четырехполосника

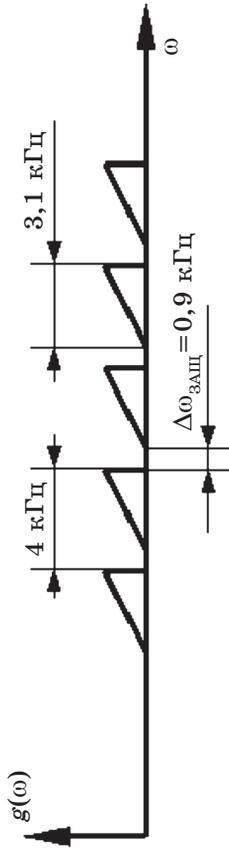


Рис. 3.6. Спектр группового сигнала с защитными интервалами

нальных сообщений вводятся защитные интервалы. Для каналов ТЧ они равны 0,9 кГц. Таким образом, ширина полосы канала ТЧ с учетом защитного интервала равна 4 кГц (рис. 3.6).

3.3. Принцип многократного преобразования частот

В системах ЧРК с числом каналов 12 и более реализуется принцип многократного преобразования частоты. В основу построения многоканальной системы положен стандартный канал тональной (ТЧ). Оконечное оборудование строится с таким расчетом, чтобы на каждом этапе преобразования частоты с помощью унифицированных блоков формировались все более и более укрупненные группы каналов ТЧ. Причем в любой группе число каналов кратно 12.

Вначале каждый из каналов ТЧ «привязывается» к той или иной 12-канальной группе, называемой первичной группой (ПГ). Разнесение сигналов 12 различных телефонных сообщений по спектру (формирование ПГ) осуществляется с помощью индивидуального преобразования частоты в стандартном 12-канальном блоке. Эти блоки обеспечивают как прямую, так и обратную связь в каждом из 12 дуплексных каналов (рис. 3.7).

Каждый канал содержит следующие индивидуальные устройства: на передаче ограничитель амплитуд ОА, модулятор М и полосовой фильтр ПФ; на приеме полосовой фильтр ПФ, демодулятор ДМ, фильтр нижних частот ФНЧ и усилитель низкой частоты УНЧ.

Для преобразования исходного сигнала на модуляторы и демодуляторы каждого канала подаются несущие частоты, кратные 4 кГц.

Спектр группового сигнала ПГ представлен на рис. 3.8.

Поскольку индивидуальное оборудование во всех 12 каналах однотипно, на данном рисунке приведены лишь устройства, относящиеся к одному каналу (пер-

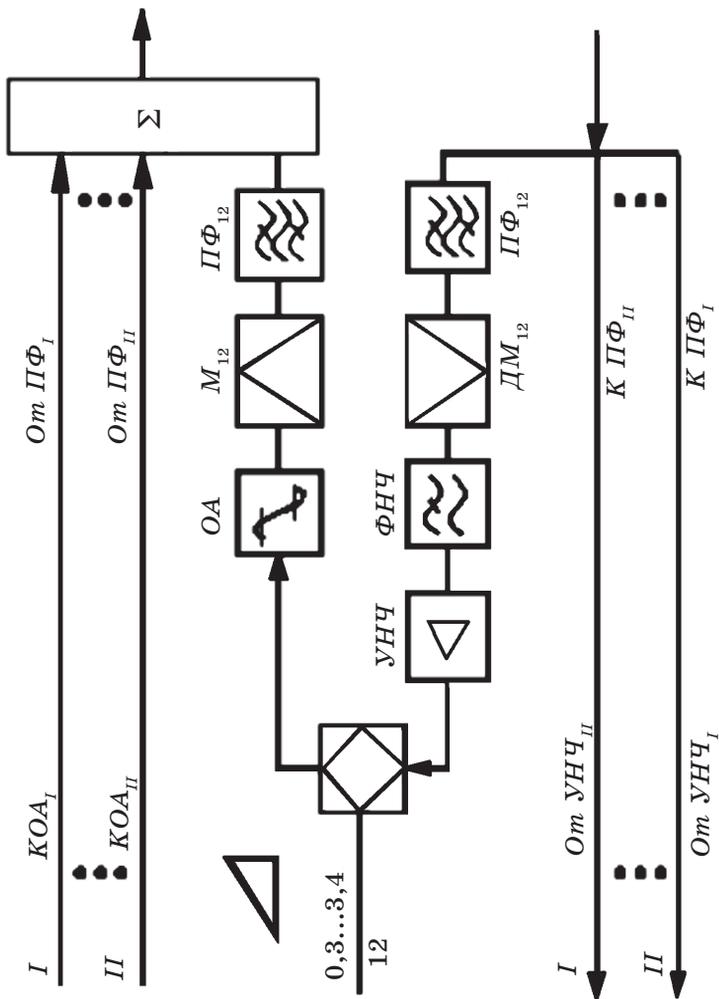


Рис. 3.7. Структурная схема блока индивидуального преобразования

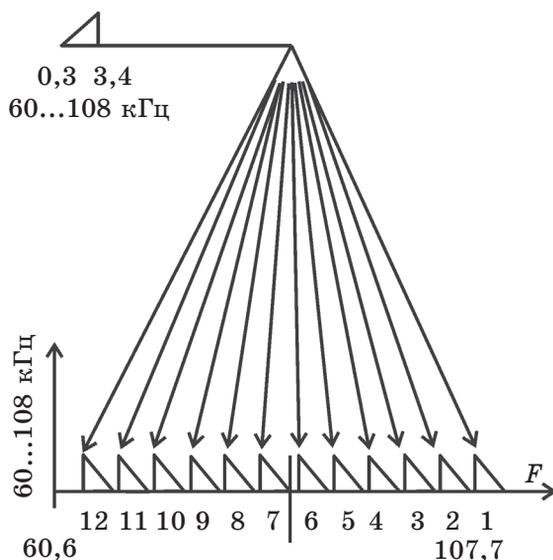


Рис. 3.8. Схема формирования первичной группы

вому). Как отмечалось ранее, при организации телефонной связи можно использовать либо двухполюсную двухпроводную, либо однополосную четырехпроводную систему передачи.

Схема, изображенная на рисунке 3.7, относится ко второму варианту. Здесь каждый канал имеет отдельные тракт передачи и тракт приема (действующие в одной и той же полосе частот), то есть каждый канал является четырехпроводным. Если канал используется для телефонной связи, то двухпроводный участок цепи от абонента соединяется с четырехпроводным каналом через дифференциальную систему (ДС). В случае передачи других сигналов (телеграфных, данных, звукового вещания и тому подобное), для которых необходим один или несколько односторонних каналов, ДС отключается.

В приведенном варианте формирования ПГ использован принцип однократного преобразования спектра канала ТЧ (рис. 3.9).

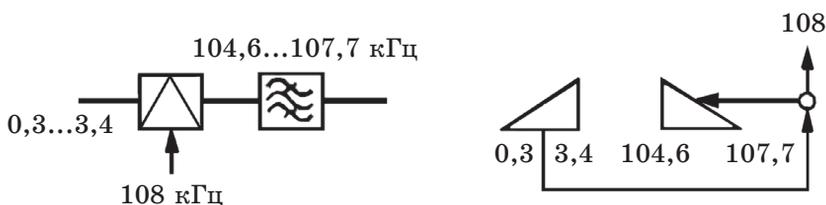


Рис. 3.9. Структурная схема и диаграммы однократного преобразования спектра канала ТЧ

В режиме передачи сообщение от абонента (Аб) через ДС и амплитудный ограничитель (ОА) поступает на один из входов индивидуального преобразователя частоты (модулятор M_{11}). На другой вход M_{11} подается сигнал поднесущей с частотой F_{12} . В результате перемножения этих сигналов образуется сигнал, спектр которого состоит из двух боковых (относительно F_{12}) полос. Сигнал нижней из этих полос выделяется фильтром $ПФ_{12}$ и подается на один из входов сумматора. На другие входы сумматора поступают сигналы с выхода аналогичных трактов передачи 11 других каналов.

Амплитудные ограничители предотвращают перегрузку групповых усилителей (а, следовательно, уменьшают вероятность возникновения нелинейных помех) в моменты появления пиковых значений напряжений нескольких речевых сигналов.

В режиме приема каналный сигнал выделяется с помощью полосового фильтра $ПФ_{12}$ из спектра первичной группы (с полосой 60...108 кГц) и подается на индивидуальный преобразователь $ДМ_{12}$. На другой вход $ДМ_{12}$ поступает тот же сигнал поднесущей частоты F_{12} , который питает и M_{11} . Спектр выходного сигнала $ДМ_{12}$ состоит из двух боковых (относительно F_{12}) полос. Сигнал нижней из этих полос выделяется ФНЧ, усиливается и через ДС поступает к абоненту. Приемные тракты 11 других каналов построены аналогично. В аппаратуре с числом каналов 60 и более индивидуальное оборудование размещается в специальных стойках индивидуальных преобразователей СИП-60 или СИП-300.

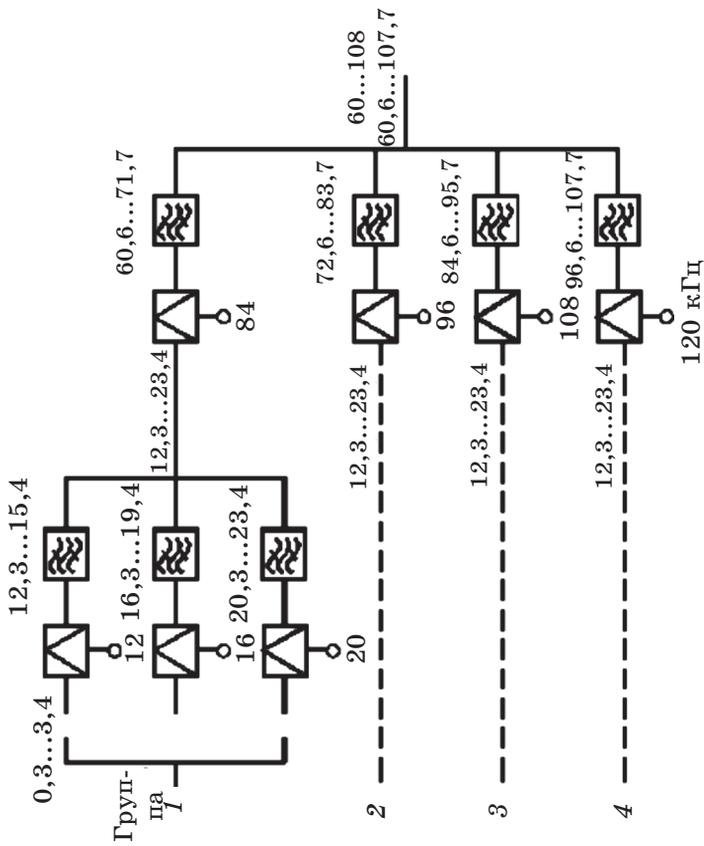


Рис. 3.10. Структурная схема формирования первичной группы с использованием двухкратного преобразования

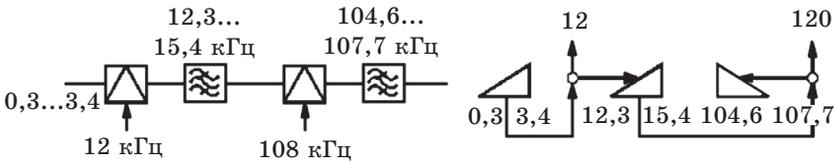


Рис. 3.11. Структурная схема и диаграммы двухкратного преобразования спектра канала ТЧ

На практике используется и другой вариант: формирование первичной группы из четырех предварительных групп (рис. 3.10), каждая из которых объединяет по три канала ТЧ. Здесь реализуется двухкратный принцип преобразования (рис. 3.11).

Одинаковые полосы частот пяти ПГ с помощью первичного группового преобразования разносятся по частоте в полосе 312...552 кГц и образуют 60-канальную (вторичную) группу (ВГ). На рисунке 3.12 изображена упрощенная структурная схема группового оборудования ВГ. Сообщения пяти первичных групп ПГ₁–ПГ₅ подаются на пять групповых преобразователей ГП₁–ГП₅, на вторые входы которых из генераторного оборудования поступают сигналы несущих частот.

С помощью полосовых фильтров ПФ₁–ПФ₅, подключенных к выходам групповых преобразователей, образуются сигналы вида ОБП с полосой частот 48 кГц каждый. В результате сложения этих неперекрывающихся по спектру пяти сигналов образуется спектр вторичной группы (ВГ) с полосой частот 240 кГц (312...552 кГц).

Для снижения переходных влияний между сигналами ВГ, передаваемыми по смежным трактам, в спектре ВГ могут использоваться как прямые, так и инверсные спектры ПГ₂–ПГ₅. В первом случае на ГП₂–ГП₅ подаются несущие частоты 468, 516, 564, 612 кГц, а соответствующие полосовые фильтры выделяют нижние боковые полосы (как показано на рисунке 4.9). Во втором случае на ГП₂–ГП₅ подаются несущие частоты 300, 348, 396, 444 кГц, а полосовыми фильтрами ПФ₂–ПФ₅

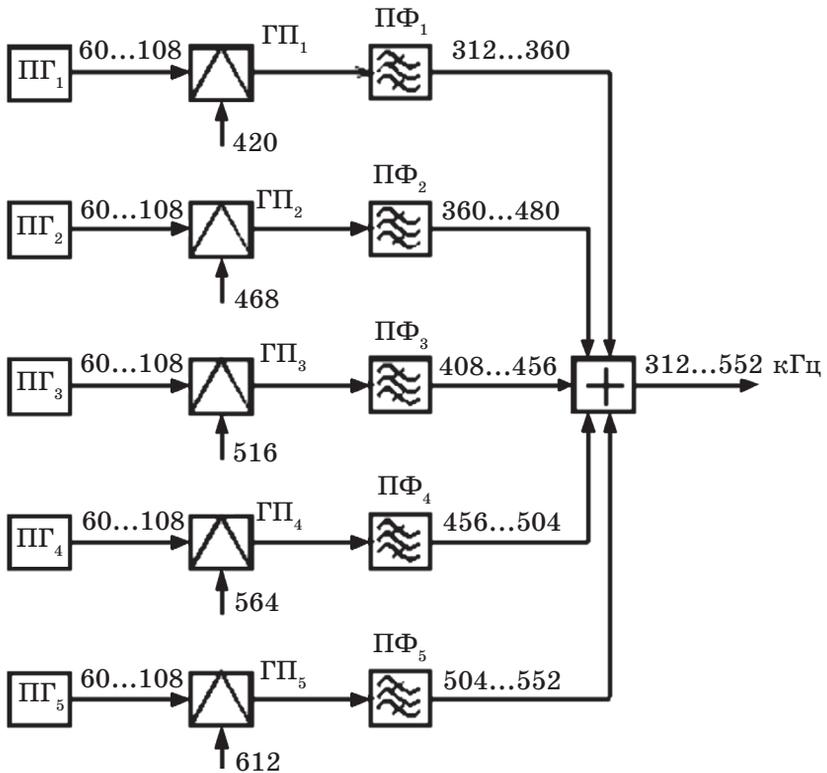


Рис. 3.12. Структурная схема группового оборудования вторичной группы

выделяются верхние боковые полосы. Несущая частота для ПГ_1 в обоих случаях одинаковая (420 кГц), и спектр ПГ_1 не инвертируется. Оборудование первичного группового преобразования размещается в специальных стойках первичных преобразователей УСПП или СПП. Следующие ступени группового преобразования выполняются аналогично.

Аппаратура образования групповых трактов может состоять из различных комбинаций стандартных блоков, в которых осуществляется тот или иной этап преобразования частоты. Например, в широко используемой в настоящее время аппаратуре системы К-1920 каналы ТЧ объединяются в две 60-канальные группы

(ВГ) и шесть 300-канальных групп (ТГ). При этом общее число каналов $N=60 \cdot 2 + 300 \cdot 6 = 1920$.

После того как путем последовательного объединения достигается номинальное число каналов, обычно осуществляется еще одно преобразование частоты: суммарный (групповой) спектр преобразуется в линейный спектр, то есть в ту полосу частот, в которой многоканальный сигнал этой системы передается по линии. При этом учитываются особенности каждой линии.

Если индивидуальное и групповое преобразование обычно осуществляется в типовых блоках и стойках, то сопряжение этой аппаратуры (в частности, формирование линейного спектра) с линейным трактом выполняется в оборудовании, специфичном для каждой данной проводной или радиосистемы.

При проектировании и разработке многоканальных систем передачи возникает необходимость количественной оценки параметров групповых сообщений на различных ступенях преобразования, в частности сигналов на входе линейного тракта. Эти параметры, как и для любых сигналов связи, определяются соответствующими частотными, информационными и энергетическими характеристиками.

3.4. Шумы в каналах и трактах

Из всего многообразия шумов, действующих в линиях передачи, основное внимание должно быть уделено собственным тепловым шумам, нелинейным шумам и шумам линейных переходов. По своему действию они создают так называемые совпадающие и несовпадающие помехи. Совпадающие помехи в ТЛФ тракте создают внятные переходные разговоры. Эти переходные разговоры порождаются за счет линейных переходов на передающем и приемном концах усилительных участков за счет конечной балансировки развязывающих устройств, по цепям питания и за счет электромагнитных наводок внутри кабеля от соседних проводников. На них нор-

ма по защищенности не менее 60 дБ. Несовпадающие помехи – 50 дБ – защищенность. Наибольшее значение уровней помех при полной загрузке тракта. Допустимые соотношения: $P_{\text{совп}} : P_{\text{несов}} : P_{\text{лин.пер}} = 1 : 1 : 2$ – для симметричного кабеля и $1 : 1 \times$ – для коаксиального.

При расчете шумовых характеристик линий передач в качестве нормированного эталона используют характеристики эквивалентной гипотетической цепи (ЭГЦ).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы свойства систем с ЧРК?
2. Каковы способы формирования канальных сигналов?
3. В чем заключается принцип многократного преобразования частот?
4. Что представляют собой шумы в каналах и трактах?

4. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

4.1. Принцип построения систем с временным распределением каналов

На основе временного метода разделения каналов строятся многоканальные системы передачи с временным разделением каналов (СП с ВРК) (рис. 4.1).

Сигналы каждого канала ТЧ поочередно дискретизируются, квантуются и мультиплексируются. Каждый канал занимает весь спектр канала, но передается поочередно.

При временном разделении каналов сообщения дискретизируются, и передаются только их мгновенные значения, один раз за период повторения.

Мгновенные значения каждого сообщения передаются короткими импульсами, поэтому по одной линии связи можно передавать последовательно во времени несколько сообщений.

Для каждого канала связи выделяется определенный промежуток времени, являющийся частью периода повторения, в течение которого высылаются импульсы, модулированные информацией, передаваемой по данному каналу.

Модуляция импульсов осуществляется по амплитуде, длительности или по фазе.

Коммутаторы должны работать синхронно и синфазно. Пример временной диаграммы сигналов сообщений при временном разделении каналов связи показан на рисунке 4.3.

Введем следующие обозначения: $T_{ц}$ – время опроса всех каналов, $f_{ц}$ – частота опроса каналов, τ_p – время работы одного канала, $\tau_з$ – защитный интервал (4.4).

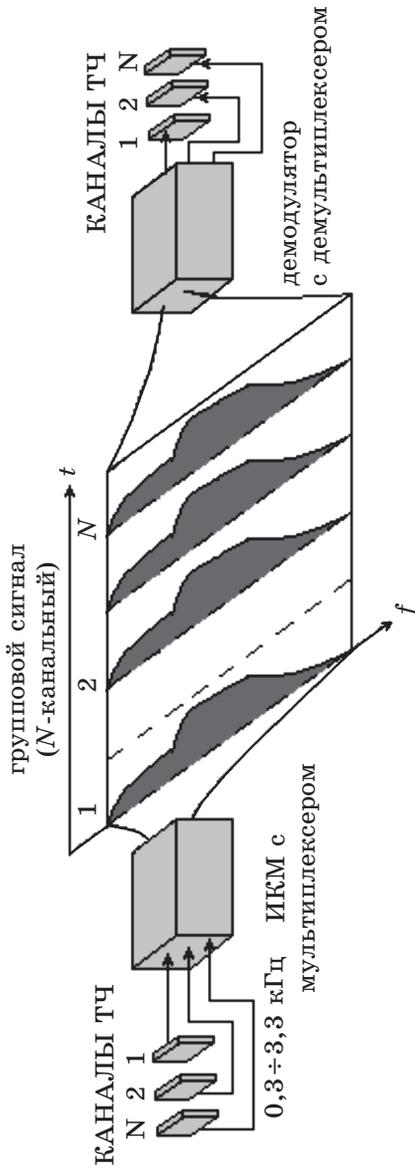


Рис. 4.1

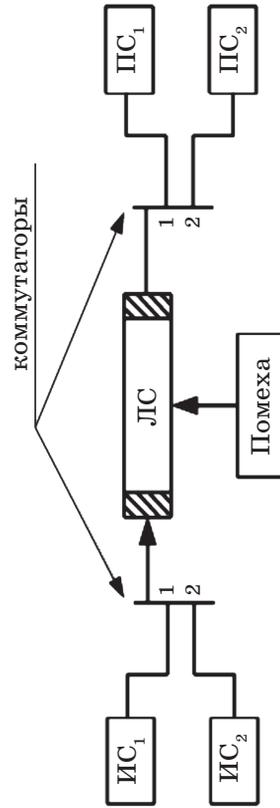


Рис. 4.2. Телемеханическая система с временным разделением каналов связи

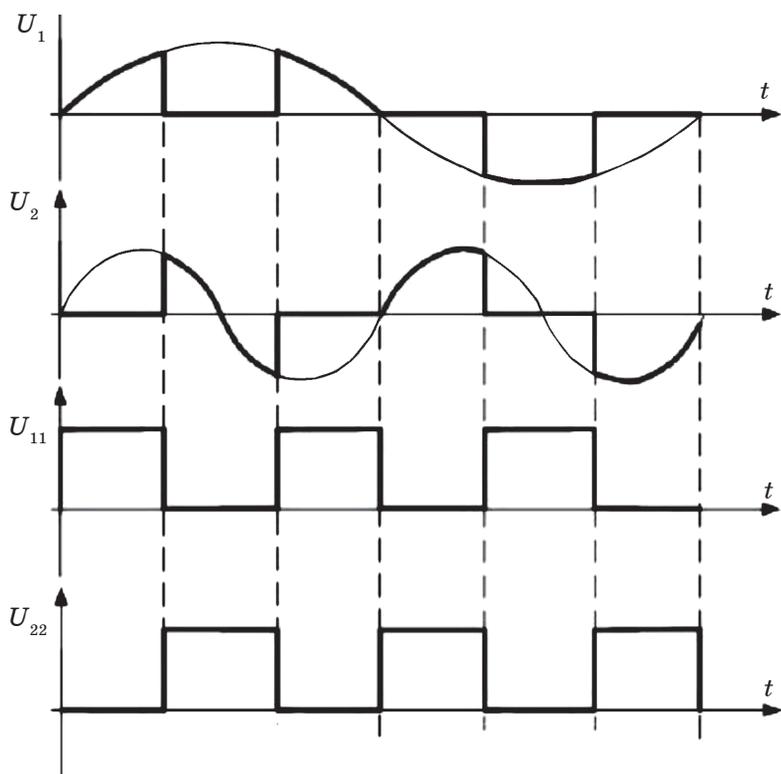


Рис. 4.3. Временное разделение каналов связи:

U_1 – напряжение на выходе первого канала; U_2 – напряжение на выходе второго канала; U_{11} – импульсы синхронизации для первого канала; U_{22} – импульсы синхронизации для второго канала

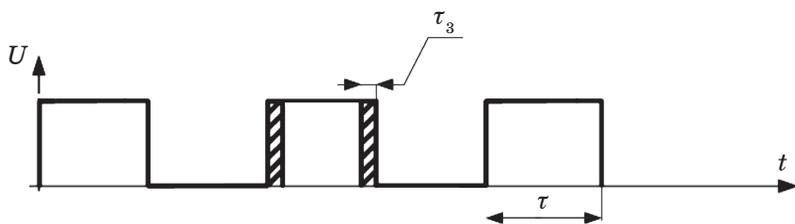


Рис. 4.4. Защитные интервалы

В результате чего получаем:

$$T_{ц} = N \cdot \tau_{к} \quad (4.1)$$

где N – число каналов,

$$\tau_{к} = \tau_{р} + 2 \cdot \tau_{з}. \quad (4.2)$$

Достоинства временного разделения каналов связи:

- использование цифрового сигнала при передаче сообщения;
- возможность передачи избыточной информации для восстановления полученного сигнала;
- высокая помехоустойчивость систем (отсутствуют переходные помехи нелинейного происхождения);
- более простая реализация систем;
- повышенная защищенность каналов от несанкционированного доступа.

Недостатки временного разделения каналов связи:

- нелинейные искажения, возникающие за счет ограниченности полосы частот и неидеальности амплитудно-частотной и фазочастотной характеристик системы связи, нарушают импульсный характер сигналов;
- взаимные помехи могут возникать за счет несовершенства синхронизации тактовых импульсов на передающей и приемной сторонах.

На базе временного разделения каналов строятся все современные цифровые системы передачи. Цифровые методы и устройства передачи информации являются основными в телекоммуникационных системах благодаря совокупности своих достоинств, таких как высокая помехоустойчивость, простота группообразования, возможность интеграции разнородного трафика, высокая технологичность. Укрупненная структурная схема ЦСП приведена на рисунке 4.5.

Здесь аналоговый сигнал $S_c(t)$ с выхода источника сообщения проходит через аналого-цифровой сигнал (двоичный цифровой код) $S_k(t)$. Для передачи по линии

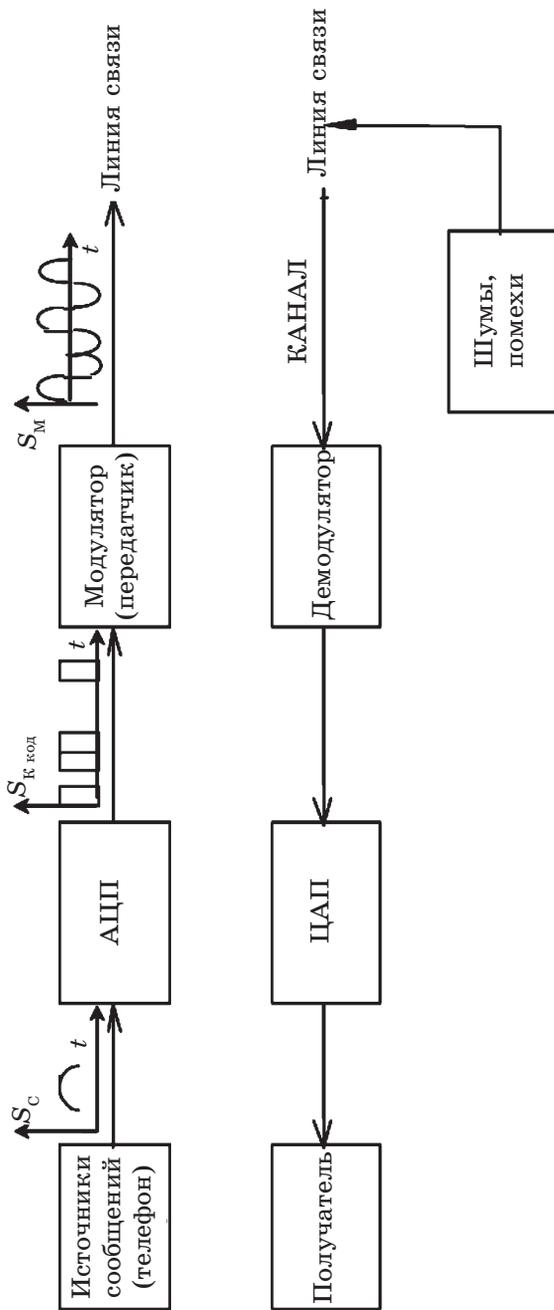


Рис. 4.5. Структурная схема ЦСП

связи (медный кабель, ВОЛС, радиоканал) этот сигнал с помощью модулятора или кодирующего устройства преобразуется к виду $S_m(t)$, позволяющему передачу на большие расстояния с минимальными искажениями. В приемной части ЦСП происходят обратные преобразования с помощью демодулятора и цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). В канале передачи сигнал $S(t)$ искажается при воздействии шумов и помех, которые наиболее эффективно проявляют себя в канале связи и во входных каскадах приемника.

В системе передачи с временным разделением каналов (ВРК) исходный непрерывный сигнал каждого канала подвергается преобразованию в последовательность коротких импульсов, закон изменения амплитуды которых соответствует исходному сигналу. Такой процесс можно представить модуляцией, исходным сигналом, импульсной несущей. Устройство, обеспечивающее такое преобразование, называются *амплитудно-импульсным модулятором*.

В промежутках между импульсами одного канала размещаются импульсы других каналов.

В процессе формирования АИМ-сигнала осуществляется дискретизация непрерывного (аналогового) сигнала во времени в соответствии с теоремой дискретизации (теоремой Котельникова): любой непрерывный сигнал, ограниченный по спектру верхней частотой f_B , полностью определяется последовательностью своих дискретных отсчетов, взятых через промежуток времени $T_d = \frac{1}{2} \cdot f_B$, называемый *периодом дискретизации*. В соответствии с ним частота дискретизации, т.е. следования дискретных отсчетов, выбирается из условия $f_d > 2f_B$. Поскольку все реально существующие непрерывные сигналы связи представляют собой случайные процессы с бесконечно широким спектром, причем основная энергия сосредоточена в относительно узкой полосе частот, перед дискретизацией необходимо с помощью фильтра нижних частот ограничить спектр сиг-

нала некоторой частотой f_b . Для телефонных сигналов необходимо использовать фильтр низких частот с частотой среза $f_b = 3,4$ кГц. Поэтому частота дискретизации для телефонных сигналов выбрана 8 кГц.

4.2. Преобразование аналогового сигнала в цифровой.

Особенности и виды импульсной модуляции сигналов

Рассмотрим процесс формирования цифрового сигнала (рис. 4.6), который можно разбить на три этапа:

- 1) дискретизация во времени;
- 2) квантование по уровню;
- 3) кодирование (импульсно-кодовая модуляция).

На первом этапе вместо непрерывной функции времени $S_a(t)$ формируется совокупность дискретных отсчетов $S_a(t - k\tau_d)$, взятых в равноотстоящих друг от друга моментах времени с интервалом τ_d .

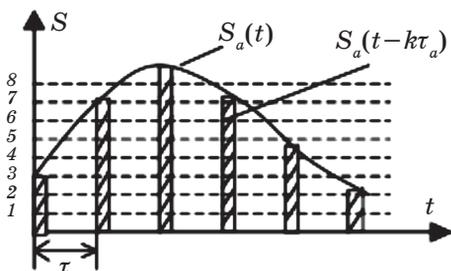
На основе временного метода разделения каналов строятся многоканальные системы передачи с временным разделением каналов (СП с ВРК).

Полученный дискретный сигнал или сигнал с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ) может принимать в своих отсчетах любые непрерывные значения.

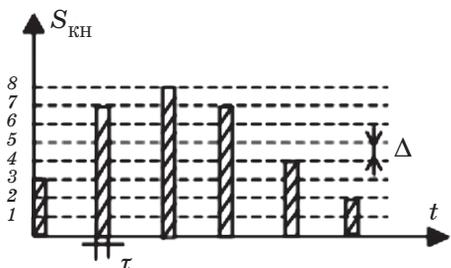
Амплитудно-импульсная модуляция. Различают сигналы АИМ 1-го и 2-го рода. АИМ сигнал 1-го рода является результатом дискретизации непрерывного сигнала на интервалах Котельникова. При этом вершина каждого импульса меняется в соответствии с изменением мгновенного значения сигнала.

Такой сигнал не может быть использован для последующего кодирования, так как изменение амплитуды импульса в процессе кодирования исказит кодовую комбинацию. Для этого отсчетное значение импульса на интервале кодирования остается неизменным. Такой сигнал называется сигналом АИМ 2 рода (АИМ-II) (рис. 4.7).

Дискретизация во времени
(амплитудно-импульсная
модуляция АИМ)



Квантование по
уровню



Кодирование
(импульсно-кодовая
модуляция)

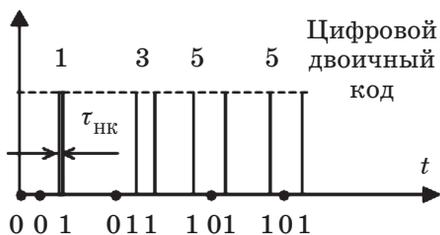


Рис. 4.6. Формирование цифрового сигнала

Для получения этого сигнала достаточно запомнить мгновенное значение импульса в начале отсчета и удерживать его в памяти в течение всего времени τ_N .

Различие между сигналами АИМ-I и АИМ-II оказывается существенным, если длительность импульсов τ сравнима с периодом их следования T .

Поскольку все реально существующие непрерывные сигналы связи представляют собой случайные процессы с бесконечно широким спектром, причем основная энергия сосредоточена в относительно узкой полосе частот, перед дискретизацией на передаче необходимо с помо-

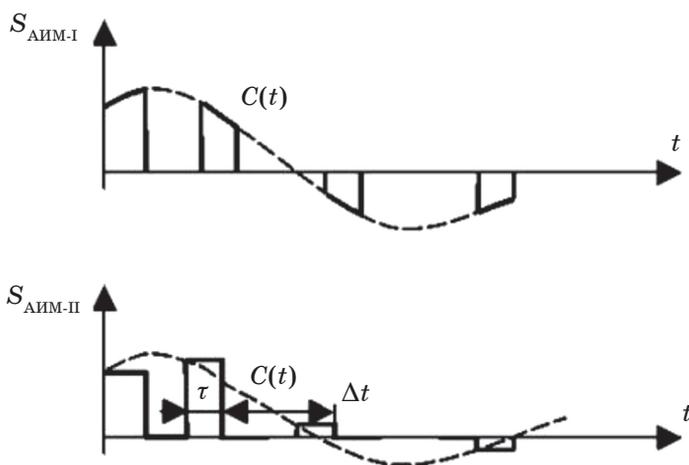


Рис 4.7. К пояснению принципов формирования АИМ-I и АИМ-II

щью фильтра нижних частот ограничить спектр канала некоторой частотой f_B . Для телефонных сигналов необходимо использовать ФНЧ с частотой среза $f_B = 3,4$ кГц.

Рассмотрим требования, предъявляемые к выбору частоты дискретизации, с точки зрения возможности выделения первичного сигнала при приеме за счет использования фильтрации низкочастотной части спектра. На рисунке 4.8 изображен спектр первичного сигнала, а также спектры $S_B(f)$ при разных соотношениях между f_d и f_B . Если в соответствии с теоремой Котельникова выбрана $f_d = 2f_B$, то частоты $f_d + f_B$ и $f_d - f_B$ совпадают, и спектр первичного сигнала может быть отделен от нижней боковой АИМ-сигнала, лежащей в диапазоне от $f_d - f_B$ до f_d , только с помощью идеального ФНЧ, который физически нереализуем. Поэтому на практике выбирают $f_d > 2f_B$. В этом случае спектры $f_d - f_B$ и $(f_d - f_B) \times f_B$ разнесены и можно выделить первичный сигнал реальным фильтром. Обычно принимают $f_d = (2,3 \times 2,4) f_B$. Так, при дискретизации ТФ сигнала со спектром $0,3 \dots 3,4$ кГц $F_d = 8$ кГц. При этом полоса расфильтровки Δf оказывается достаточно большой и составляет $\Delta f = (f_d - f_B) - f_B = 1,2$ кГц.

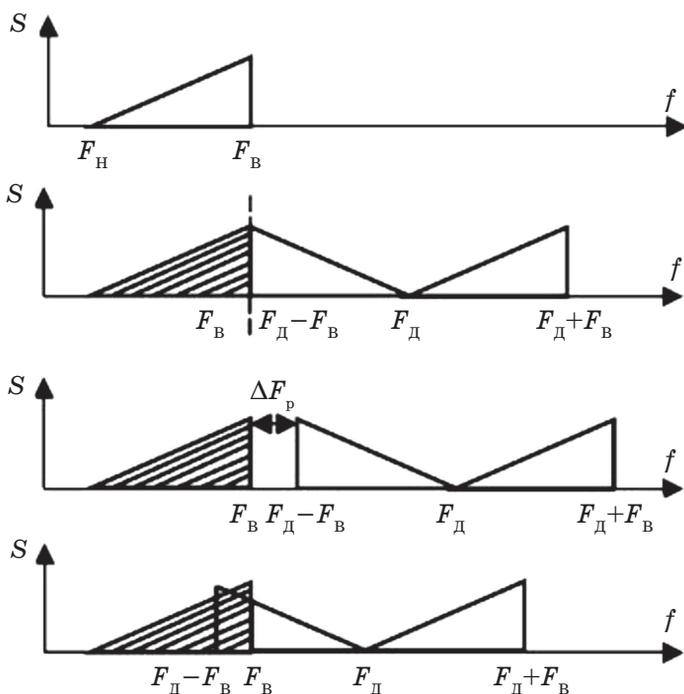


Рис. 4.8. Влияние частоты дискретизации на возможность восстановления сигнала с помощью фильтра

Как видно из рисунка 4.7, АИМ сигнал является дискретным по времени, но непрерывным по уровню, так как амплитуда отсчетов может принимать бесконечное множество значений.

Квантование. Чтобы число амплитудных значений было конечно, на втором этапе (рис. 4.7) проводят операцию квантования. Она заключается в том, что значение отсчета сравнивается с некоторым уровнем, близким к нему, и приравнивается либо к величине этого уровня, либо к другой величине, связанной с ним. Такой величиной, например, может быть среднее значение между соседними уровнями.

Это потребует при кодировании использования кодов с числом разрядов, стремящихся к бесконечности. Поэтому ограничивают число возможных значений ам-

плитуд АИМ отсчетов конечным множеством, содержащим определенное число «разрешенных» уровней $N_{\text{кв}}$. Это достигается в процессе квантования сигнала по уровню, при котором истинное значение каждого АИМ отсчета заменяется ближайшим разрешенным значением. Значение $N_{\text{кв}}$ зависит от вида передаваемого сигнала и требований к качеству передачи. Помимо общего числа уровней квантования $N_{\text{кв}}$, квантующее устройство характеризуется шагом квантования δ и напряжением ограничения $U_{\text{огр}}$. Шагом квантования δ называют разность между двумя соседними разрешенными уровнями, а $U_{\text{огр}}$ определяет максимальное значение амплитуды отсчета, подвергаемого квантованию. Необходимо, чтобы вероятность появления отсчета с амплитудой выше $U_{\text{огр}}$ была пренебрежимо мала. Очевидно $\delta = U_0 / N_{\text{кв}}$. Если шаг квантования во всем диапазоне изменений амплитуды сигнала остается постоянным, т.е. $\delta = \text{const}$, то квантование называется равномерным. Если в пределах шкалы шаг квантования не остается постоянным, то квантование называется *нелинейным (неравномерным)*.

На рисунке 4.9 показаны принципы равномерного и неравномерного квантования. Квантование осуществляется следующим образом. Если амплитуда отсчета в пределах двух соседних разрешенных уровней превышает половину шага квантования $\Delta/2$, то амплитуда отсчета изменяется в большую сторону, если меньше половины шага квантования – в меньшую сторону. Таким образом, операция квантования аналогична операции округления чисел, а следовательно, неизбежно приводит к возникновению ошибки, причем устранить эту ошибку на приеме не представляется возможным. Ошибкой (шумом) квантования называют разность между истинным значением отсчета и его квантованным значением: $Z_{\text{кв}}(t) = U_{\text{аим}}(t) - U_{\text{кв}}(t)$.

Характеристика квантования (рис. 4.10) имеет две зоны: квантования при $|U_{\text{вх}}| < |U_{\text{огр}}|$ и ограничения при $|U_{\text{вх}}| > |U_{\text{огр}}|$. Зона квантования является рабочей обла-

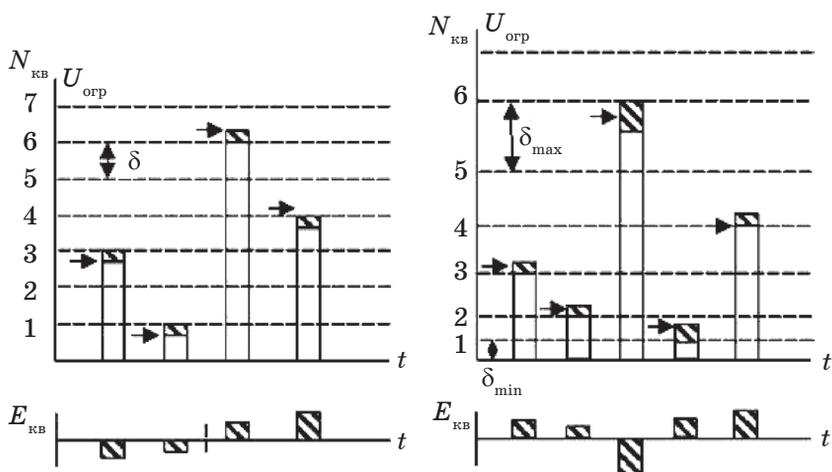


Рис. 4.9. Принципы равномерного и неравномерного квантования

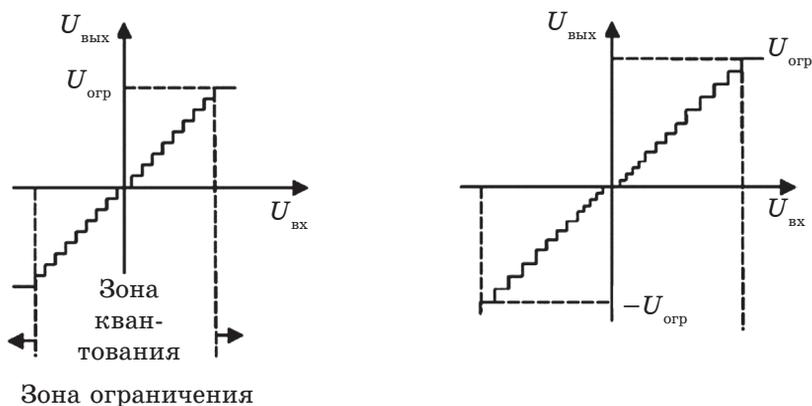


Рис. 4.10. Амплитудные характеристики квантующих устройств

стью характеристики. В ее пределах осуществляется квантование сигнала. Чтобы не возникали шумы ограничения, применяют специальные меры, предотвращающие перегрузку квантования, так как возникающие шумы ограничения имеют мощность, значительно превышающую мощность шумов квантования.

Основной недостаток равномерного квантования заключается в следующем. Поскольку мощность шумов квантования не зависит от величины сигнала, защищенность от шумов квантования оказывается небольшой для сигналов с малыми уровнями (слабых сигналов) и возрастает при увеличении уровня сигнала. Для того чтобы выполнить требование к защищенности, необходимо уменьшить шаг квантования, т.е. увеличить число разрешенных уровней. При уменьшении шага квантования в 2 раза мощность шумов квантования уменьшается в 4 раза, а защищенность возрастает на 6 дБ.

Число уровней квантования $N_{\text{кв}}$ однозначно связано с разрядностью кода n , необходимой для кодирования квантованных АИМ отсчетов. При использовании двоичных кодов $N_{\text{кв}} = 2^n$.

Большое число разрядов в коде ($n=8$) при равномерном квантовании приводит к усложнению аппаратуры и неоправданному увеличению тактовой частоты. Устранить указанный существенный недостаток можно, осуществляя неравномерное квантование, которое используется в современных ЦСП. Для слабых сигналов шаг квантования выбирается и постепенно увеличивается, достигая максимальных значений для сильных сигналов.

Кодирование. Современные методы кодирования речевого сигнала можно классифицировать по принципам кодирования, которые положены в основу метода.

Различают следующие принципы кодирования речевого сигнала:

- принцип кодирования формы волны речевого сигнала;
- принцип кодирования параметров речевого тракта человека и источника возбуждения;
- принцип кодирования символьной информации (фонем);
- принцип кодирования лингвистической информации (слов, фраз и тому подобное).

Данные принципы различаются в зависимости от используемых основных свойств речевого сигнала, образования и восприятия речи:

1) основные свойства речевого сигнала: амплитуда, частота (время), площадь (как производная амплитуды и времени);

2) свойства образования речи:

- изменения амплитуды,
- деление речи на звуки, паузы и шумы;
- особенности языковой и фонетической структуры;
- кратковременная корреляция (особенности формантной структуры);
- особенности структуры тона звука (звонкие звуки);

- особенности структуры шума (глухие звуки);

3) свойства восприятия речи;

4) локальный спектральный динамический диапазон речевого сигнала;

5) слуховое маскирование.

На современном этапе используются, в основном, методы, которые базируются на первых двух принципах кодирования.

Напомним, что человеческая речь воспроизводится с приемлемым качеством в полосе частот 100–4000 Гц, чему соответствует частота выборки 8 кГц (8000 отсчетов в секунду), каждый отсчет преобразуется в 8-битовый цифровой код. Общая скорость цифрового потока сигнала равна 8×8000 отсчетов в секунду, то есть 64 кбит/с.

Метод импульсно-кодовой модуляции принят в 1960 г. в качестве международного стандарта кодирования речи для телефонного канала (стандарт ITU G.711), работающего на скорости 64 кбит/с.

Этот алгоритм используется при передаче речевой информации в телефонных сетях.

Оцифровка голосового сигнала включает измерение уровня аналогового сигнала через равные промежутки времени. В соответствии со стандартом G.711 необходимо обеспечить передачу частотных составляющих речевого сигнала в диапазоне от 200 до 3400 Гц. Стандарт обеспечивает неискаженную передачу сигнала в полосе

человеческого голоса (до 4 кГц) с отношением сигнал/шум 40 дБ.

Принцип кодирования формы волны речевого сигнала.

Первым шагом кодирования является измерение значения амплитуды сигнала. Для этого 12–14-тиразрядный динамический диапазон амплитуды разбивают на 8 логарифмических поддиапазонов, в каждом из которых значение амплитуды кодируют 5 разрядами и таким образом достигают сокращения информации до 64000 бит/с.

Метод нелинейного квантования основан на уменьшении числа уровней квантования по амплитуде. На рисунке 4.11 представлен сигнал, который квантуется по времени в 11 точках с использованием 8 уровней квантования по амплитуде сигнала.

Уровни квантования (по амплитуде) кодируются по правилу, представленному в таблице 4.1.

Таблица 4.1

**Кодирование уровней квантования
на примере трехразрядного кода**

Уровень квантования	0	1	2	3	4	5	6	7
Код	000	001	010	011	100	101	110	111

Сигнал кодируется следующим образом: 101 111 110 001 010 100 111 100 011 010 101. Общее количество – 33 бита.

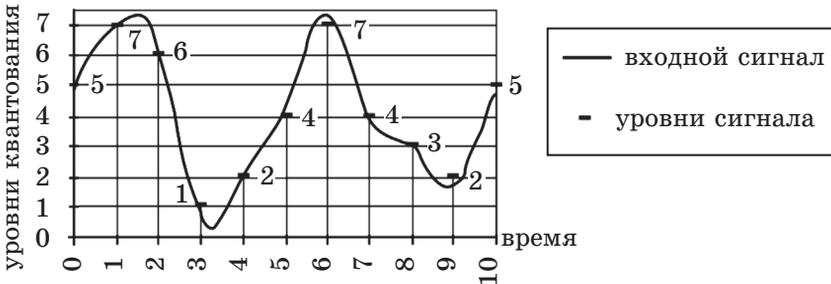


Рис. 4.11. Исходный сигнал

4.3. Структура сигнала первичного цифрового канала

Напомним, что человеческая речь воспроизводится с приемлемым качеством в полосе частот 100–4000 Гц, чему соответствует частота выборки 8 кГц (8000 отсчетов в секунду), каждый отсчет преобразуется в 8-битовый цифровой код. Общая скорость цифрового потока сигнала равна 8×8000 отсчетов в секунду, то есть 64 кбит/с, что соответствует речевому каналу 0,3–3,4 кГц в аналоговом виде и носит название *основной цифровой канал (ОЦК)*.

В цифровой связи для передачи нескольких цифровых потоков по одной линии связи используется метод, называемый *мультиплексированием* с временным разделением каналов. В англоязычной литературе эквивалентный термин – Time Division Multiplexing (TDM). Процедура TDM выглядит так: из входных цифровых потоков мультиплексор поочередно отбирает определенную последовательность бит, добавляет служебную информацию и формирует выходную последовательность. Непрерывную последовательность бит в выходном потоке, принадлежащую определенному входному каналу, называют *канальным интервалом*, или *тайм-слотом*. На практике наиболее употребительными являются схемы мультиплексирования с байт-интерливингом (чередованием), когда канальный интервал состоит из 8 бит, либо с бит-чередованием, когда на выход последовательно коммутируется по одному биту из каждого канала. Одной только тактовой синхронизации недостаточно для демультиплексирования битовой последовательности, так как в получаемом потоке бит необходимо еще привязать к началу первого канального интервала на принимающем конце линии. С этой целью при формировании уплотненного потока в него с определенной периодичностью вставляют фиксированную битовую последовательность, которая вместе с группой канальных интервалов, следующих за ней и содержащих равное количество интервалов

из каждого входного потока, образует кадр или фрейм (цикл).

С помощью этой битовой последовательности, выделяя ее как маркер, принимающая аппаратура может привязаться к началу каждого кадра в цифровом потоке. Этот вид синхронизации называют кадровой или цикловой синхронизацией. В цифровых системах несколько кадров объединяют в структуру, называемую сверхкадром (или сверхциклом, по-английски superframe). Для правильного приема таких структур, кроме тактовой и кадровой синхронизаций, необходима еще и сверхкадровая синхронизация.

Первую систему передачи голоса, использующую ИКМ и мультиплексирование с временным разделением каналов, установила в 1957 г. компания Bell System. В одном канале объединялось 24 цифровых потока по 64 Кбит/с, что с учетом бита кадровой синхронизации и частоты следования кадров 8 кГц давало цифровой поток $24 \times 64 + 8 = 1544$ Кбит/с. В дальнейшем технология Bell System была стандартизована и теперь известна как канал DS1 (Digital Signal level one) или T1.

В Европе в качестве стандартной была принята иная схема объединения каналов DS0, отличная от DS1, известная как первичный цифровой канал E1. Этот стандарт в последнее время широко используется для подключения к сетям операторов связи корпоративных телефонных систем и систем передачи данных.

Канал E1 объединяет 32 канала DS0, из которых один DS0 используется для кадровой синхронизации, другой – для сигнализации. Кадр этого потока состоит из 32 канальных интервалов по 8 бит каждый. Частота следования кадров 8 кГц, что дает скорость потока $32 \times 8 \times 8 = 2048$ Кбит/с. Кадры потока E1 объединяются в сверхкадр. Количество кадров в сверхкадре зависит от типа сигнализации, используемой в E1. Под сигнализацией понимают информацию, необходимую коммуникационным устройствам для выполнения их

функций, например установление и разрыв телефонных соединений.

Метод импульсно-кодовой модуляции принят в 1960 г. в качестве международного стандарта кодирования речи для телефонного канала (стандарт ИТУ G.711), работающего на скорости 64 кбит/с.

Этот алгоритм используется при передаче речевой информации в телефонных сетях.

4.4. Принципы организации с ИКМ. Структура сигналов в первичном цифровом канале (Е1-поток)

В ЦСП групповой сигнал формируется в виде цикла. Длительность цикла $T_{\text{ц}}$ равна времени дискретизации $\tau_{\text{д}}$, которое равно 125 мкс. В пределах цикла передается информация от N каналов и служебная информация (сигналы синхронизации, сигнализации и др.). Число N может быть различным. Так, в системе ИКМ – 30/32 (стандарт ИТУ-Т G.703) 30 информационных и 2 служебных канала, а в системе ISDN BRI $N=3$, где два информационных канала 64 кб/с и один служебный 16 кб/с.

В основном цифровом канале (ОЦК) информация в виде одного байта (восемь бит) передается за время $\frac{N}{T_{\text{ц}}}$. Поскольку для надежного выделения тактовой частоты длительность импульса $\tau_{\text{и}}$ должна быть в 2 раза меньше длительности битового интервала $\tau_{\text{б}}$, то

$$\tau_{\text{и}} = \frac{T_{\text{ц}}}{2 \cdot 8 \cdot N}. \quad (4.3)$$

Для системы ИКМ-30 $\tau_{\text{и}} = \frac{125 \text{ мкс}}{2 \cdot 8 \cdot 32} = 0,24 \text{ мкс}$.

Рассмотрим ИКМ-30 подробнее.

Временной спектр ЦСП ИКМ-30 приведен на рисунке 4.12. Здесь цикл передачи содержит 32 канальных интервала (КИ), в которых передается информация абонентов (КИ1–КИ15; КИ17–КИ31) и служебная

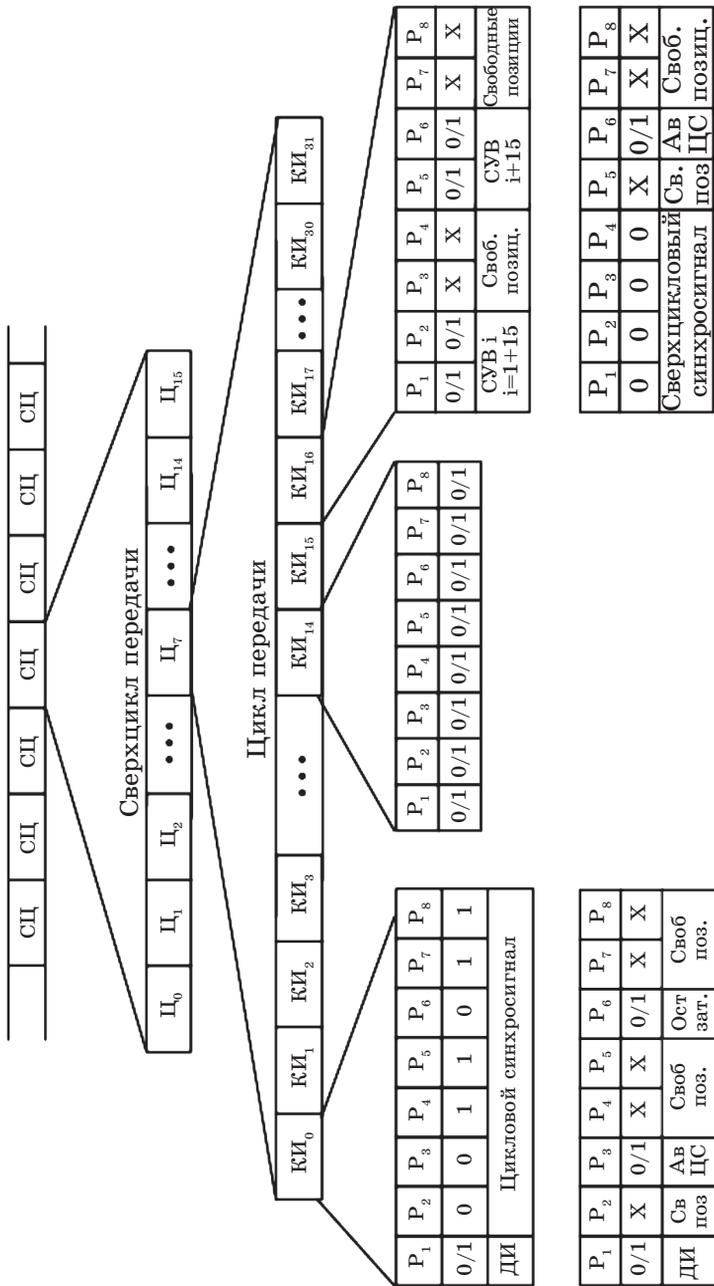


Рис. 4.12. Временной спектр ИКМ-30

информация (КИО и КИ16). Назначение битов в байте канального интервала определяется номером позиции бита P_n ($n=1-8$). Для абонентских каналов на позициях P_n передается 0 или 1 в зависимости от содержания информации, а кодовая комбинация, содержащаяся в байте, определяет значение отсчета в данном канале в данный момент времени.

Основное назначение КИ16 – передача сигналов управления и взаимодействия (СУВ) или сигнализации. К ним относятся сигналы: «Запрос», «Ответ», «Набор номера», «Занято» и др. Длительность этих сигналов значительно больше длительности цикла. Поэтому их не обязательно передавать в каждом цикле и по этой причине вводятся сверхциклы, которые объединяют несколько циклов. В системе ИКМ-30 в одном цикле передаются СУВ, только для двух каналов с номерами i и $i+15$, где $i=1 \div 15$. Для передачи отводится по четыре позиции Р1–Р4 и Р5–Р8, однако на практике используется только две Р1–Р2 и Р5–Р6, а остальные остаются для свободного использования.

Полезные сигналы могут быть распределены или побитно, или покодowo. При распределении этих позиций руководствуются следующими соображениями:

1. Символы синхронизации должны быть хорошо различимыми и обеспечивать минимальное время их поиска в случае потери синхронизма. Обычно их формируют в виде сосредоточенной группы сигналов в определенной позиции (слоте) фрейма (цикла).

2. Распределение команд согласования скоростей, управления и т.п. (т.е. сигналов управления и взаимодействия СУВ) должно быть таким, чтобы обеспечивалась их максимальная помехоустойчивость. Их часто равномерно распределяют по циклу, чтобы случайно не получить ложные сигналы от сосредоточенной помехи, но могут их передавать и в виде группы в определенном слоте (канальном интервале).

3. Длительность цикла должна быть минимальной, чтобы обеспечить минимум времени на восстановление синхронизма в случае его потери.

4. Структура цикла должна позволять работать системе как в асинхронном, так и в синхронном режиме.

Исходя из этого очевидно, что число дополнительных позиций (относительно числа информационных) должно быть малым, т.е. любые дополнительные сигналы необходимо передавать как можно меньшим числом разрядов (бит) и как можно меньше занимать слотов.

Примеры заполнения битовых позиций для некоторых сигналов при передаче от абонента к АТС приведены в таблице 4.2.

Поскольку длительность сверхцикла $T_{СЦ} = 16 \cdot T_{ц} = 16 \cdot 125 \text{ мкс} = 2 \text{ мс}$, то время передачи импульса 50 мс вполне достаточно для надежного набора номера.

Так как циклы должны быть пронумерованы и иметь периодичность передачи и приема в первом цикле с номером Π_0 , передается сигнал сверхцикловой синхронизации (СЦС), сформированный четырьмя нулями на позициях $P_1 - P_4$. В случае потери сверхцикловой синхронизации на позиции P_6 передается сигнал «Авария СЦС». Остальные три разряда свободны. Отсюда можно сделать вывод, что число циклов в сверхцикле:

$$M = \frac{N}{2} + 1, \quad (4.4)$$

где M – число информационных каналов.

Таблица 4.2

№		Сигнал		Применение
		$P_1(P_5)$	$P_2(P_6)$	
1	Занятие	1	0	
2	Набор номера			Время передачи импульса 50 мс. Длительность интервала 700 мс
	Импульс	0	0	
	Пауза	1	0	
	Межцифровой интервал	1	0	
3	Разъединение	1	1	

В канальном интервале $КИ_0$ на позициях P_2-P_8 передается цикловый синхросигнал 8 раз за сверхцикл только в четных циклах. Позиция P_1 предназначена для передачи дискретной информации для служебного или коммерческого пользования.

В нечетных циклах в $КИ_0$ на позиции P_3 передается сигнал аварии цикловой синхронизации, а на позиции P_6 – сигнал регистрирующий увеличение коэффициента передачи в ЦСП близкому к порогу самовозбуждения и предписывающий ввести остаточное затухание. Остальные позиции в $КИ_0$ свободны.

Свободные позиции были отведены для передачи дополнительной служебной информации производителем оборудования и операторами связи по своему усмотрению. Такой информацией может быть:

- потеря тактовой синхронизации;
- потеря цифрового сигнала;
- низкая помехоустойчивость.

Система ИКМ-30 может быть использована не только для передачи телефонных сигналов, но и для передачи данных, когда часть канальных интервалов отводится для этих целей. В крайнем случае во всех канальных интервалах кроме $КИ_0$ передается дискретная информация с максимальной скоростью 1984 кб/с.

4.5. Построение оконечной станции ИКМ-30

Рассмотрим структуру оконечной станции первичной ЦСП на примере широко распространенной на телекоммуникационной сети системы передачи ИКМ-30. Это оборудование относится к образцам аппаратуры прежних поколений, но ее построение позволяет наглядно продемонстрировать применение на практике рассмотренных ранее принципов преобразования сигнала.

Упрощенная функциональная схема станции показана на рис. 4.13.

Сигналы ТЧ поступают на вход/выход (точка *a*) приемопередатчика ПП и через дифференциальную систему ДС, разделяющую тракты приема и передачи, на вход передающей части ПП (точка *б*).

Передающая часть ПП состоит из ограничителя амплитуд, защищающего дальнейшие узлы оборудования от импульсных помех, активного фильтра нижних частот и амплитудно-импульсного модулятора. Фильтр нижних частот ограничивает полосу сигнала частотой 3,4 кГц, что обеспечивает безыскаженное восстановление АИМ-сигнала на приеме. Амплитудно-импульсный модулятор (электронный ключ) дискретизирует поступающий сигнал с частотой 8 кГц. Его работой управляет соответствующая номеру канала последовательность канальных импульсов, поступающая от генераторного оборудования передачи ($ГО_{пер}$). АИМ-сигналы с выходов всех тридцати ПП, смещенные друг относительно друга во времени согласно принципу временного разделения каналов, объединяются в групповой сигнал в формате АИМ-1 и поступают на вход преобразователя АИМ-1/АИМ-2 (точка *в*). Формат АИМ-2 (плоские вершины импульсов) необходим для удержания неизменным напряжения, соответствующего тому или иному мгновенному значению аналогового сигнала, на время его обработки кодером.

Кодер – устройство, заменяющее импульсы с амплитудами, равными мгновенным значениям сигналов ТЧ, канальными сигналами – восьмиразрядными кодовыми комбинациями (кодовыми словами), которые поступают на формирователь линейного сигнала ФЛС. ФЛС формирует цикл передачи, в котором помимо 30-ти канальных сигналов содержатся сервисные сигналы, сигналы дискретной информации (ДИ), поступающие от передатчика $ДИ_{пер}$, а также сигналы управления и взаимодействия (СУВ) телефонных каналов (точка *г*).

Исходные сигналы СУВ данного канала поступают от АТС на передающую часть согласующего устройства ($СУ_{пер}$) по сигнальной цепи (точка *д*). Здесь они

дискретизируются с частотой 500 Гц, объединяются по принципу ВРК (точка *e*) и поступают на ФЛС, где также вводятся в линейный сигнал. С выхода ФЛС линейный сигнал (точка *z*) поступает на преобразователь кода передачи ($\text{ПК}_{\text{пер}}$). *Преобразователь кода* – устройство, предназначенное для преобразования натурального симметричного кода в линейный, принятый в данной ИКМ. Далее сигнал через линейный трансформатор $\text{Л}_{\text{тр}}$, позволяющий ввести в линию ток дистанционного питания (ДП), поступает в кабель. Точка на выходе $\text{ПК}_{\text{пер}}$ (*ж*) является точкой начала первичного цифрового тракта (относится к стандартному интерфейсу сетевого узла, т.е. в ней нормируются физические, электрические и логические параметры соединения).

Рассмотрим приемную часть оконечной станции. Сигнал, пришедший из линии, через линейный трансформатор поступает на регенератор (Рег). *Регенератор* – устройство восстановления формы и временных соотношений сигнала. Восстановленный сигнал поступает на преобразователь кода ($\text{ПК}_{\text{пр}}$), в котором происходит преобразование линейного кода сигнала в натуральный симметричный. Точка *z* перед $\text{ПК}_{\text{пр}}$ является точкой окончания первичного сетевого тракта и так же как точка начала (точка *ж*) относится к стандартному интерфейсу сетевого узла. В структуру $\text{ПК}_{\text{пр}}$ входит также выделитель сигнала тактовой частоты (ВТЧ). Выделенный из линейного сигнала сигнал тактовой частоты (точка *к*) поступает на регенератор, в котором он управляет работой решающего устройства, и на приемное генераторное оборудование $\text{ГО}_{\text{пр}}$, в котором он используется для тактовой синхронизации задающего генератора ЗГ.

К выходу $\text{ПК}_{\text{пр}}$ (точка *и*) подключены:

– приемник синхросигналов ПСС – обеспечивает работу системы цикловой и сверхцикловой синхронизации; декодер (Дек), который преобразует восьмиразрядные канальные сигналы ИКМ в АИМ-сигналы;

– приемные части согласующих устройств $SU_{\text{пр}}$ – устройства, выделяющие и преобразующие в исходную форму сигналы управления и взаимодействия соответствующих каналов ТЧ, и направляют их на АТС;

– приемник дискретной информации ($ДИ_{\text{пр}}$) – выделяет и преобразует к исходному виду сигналы ДИ.

Все перечисленные устройства выделяют соответствующие сигналы из линейного сигнала по принципу ВРК, согласно импульсным последовательностям, поступающим от приемного генераторного оборудования ($ГО_{\text{пр}}$).

К выходу декодера Дек (точка $л$) подключены приемные части тридцати приемопередатчиков ПП, которые посредством временных селекторов ВС (ключей), управляемых $ГО_{\text{пр}}$, выделяют соответствующие АИМ-канальные сигналы. Проходя через активные фильтры нижних частот, эти сигналы преобразуются в непрерывные сигналы ТЧ.

В современных первичных ИКМ в приемопередатчик, называемый абонентской линейной платой, входят также устройства кодирования и декодирования. Первичный цифровой поток получается в этом случае путем объединения канальных цифровых потоков, поступающих от абонентских линейных плат, и сервисных сигналов системы передачи. Абонентские линейные платы могут иметь различные модификации в зависимости от вида абонентского терминала.

4.6. Принципы построения цифрового линейного тракта

Основными элементами цифрового линейного тракта являются: оконечное, линейное и промежуточное оборудование. Оконечное оборудование устанавливается на станциях и состоит из аналого-цифрового оборудования (АЦО), устройства временного группообразования (ВГ) и оконечной аппаратуры линейного тракта (ОАЛТ).

Промежуточное оборудование системы включает в себя аппаратуру, обеспечивающую регенерацию и усиление групповых ИКМ-сигналов. Комплекты этой аппаратуры устанавливаются вдоль трассы линий связи с определенным интервалом.

Места установки промежуточного оборудования называются регенеративными пунктами, которые бывают необслуживаемыми (НРП) и обслуживаемыми (ОРП). Контроль за работой аппаратуры этих пунктов, а также их дистанционное питание показаны на рисунке 4.14.

Основными элементами линейного тракта являются: оконечное, линейное и промежуточное оборудование. Оконечное оборудование устанавливается на станциях и состоит из аналого-цифрового оборудования (АЦО), устройства временного группообразования (ВГ) и оконечной аппаратуры линейного тракта (ОАЛТ).

Промежуточное оборудование системы включает в себя аппаратуру, обеспечивающую регенерацию и усиление групповых ИКМ-сигналов. Комплекты этой аппаратуры устанавливаются вдоль трассы линий связи с определенным интервалом.

Места установки промежуточного оборудования называются регенеративными пунктами, которые бывают необслуживаемыми (НРП) и обслуживаемыми (ОРП). Контроль за работой аппаратуры этих пунктов, а также их дистанционное питание обеспечивает оборудование линейного тракта, входящее в состав оконечного оборудования.

Система ИКМ-30 позволяет по параметрам низкочастотных кабелей с бумажной и полиэтиленовой изоляцией организовывать передачу 30 каналов ТЧ по одно- или двухкабельному варианту.

При однокабельном варианте часть пар выделяется для передачи, другая часть для приема. Но из-за переходного влияния удается использовать не более 1/3 всех кабельных пар, что экономически невыгодно. При двухкабельном варианте можно задействовать почти все пары.

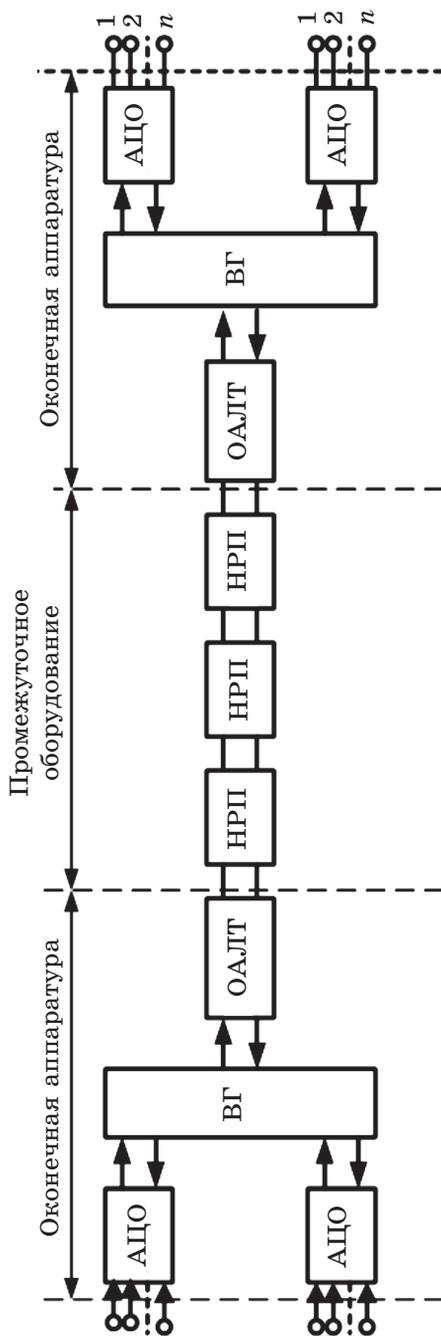


Рис. 4.14. Структура цифрового линейного тракта

В системе ИКМ-30 для каждого канала ТЧ органи- зуются по два специально выделенных канала СК₁ и СК₂ для передачи сигналов взаимодействия и управ- ления. В системе предусмотрена возможность (при не- обходимости) организации канала звукового вещания второго класса вместо 4-х каналов ТЧ и плюс восьми каналов передачи дискретной информации со скоро- стью 8 кбит/с вместо одного ТЧ канала. Причем 9-й канал передачи ДИ постоянно присутствует непосред- ственно в групповом тракте.

Напомним, что в аналого-цифровом оборудовании (АЦО-11) осуществляется амплитудно-импульсная мо- дуляция АИМ каждого аналогового канала ТЧ. По- сле этого они объединяются в групповой АИМ сигнал. Групповой АИМ-сигнал кодируется с нелинейным квантованием восьмиразрядным кодом. Объединяя эти кодовые группы с сигналами СУВ и служебными сиг-налами, получают стандартный первичный цифровой поток со скоростью 2048 кбит/с.

Оборудование линейного тракта (ОЛТ) формирует линейный сигнал с кодом ЧПИ (код с чередованием по- лярности импульсов) АМІ. Циклы и сверхциклы ИКМ- 30 мы уже рассматривали ранее.

Особенности линейного тракта ИКМ

1. Сигналы СУВ объединяются в оборудовании со- гласования межстанционных линий АТС в общий ка- нал сигнализации (ОКС). Этот канал сигнализации имеет стандартный стык обычного канала скорости 64 Кбит/с.

2. Улучшен КПД регенераторов, что позволяет поч- ти вдвое увеличить секцию дистанционного питания и дальность связи в целом.

3. При двухкабельном варианте работы на 10- парном кабеле (например, типа ТПП-0,7) в ИКМ-30-4 на 44% увеличивается длина регенерационного участ- ка (с L1=2,7 км до L1=3,8 км).

4. В ИКМ-30 имеется унифицированное сервис- ное оборудование для контроля и управления – центр

управления. Дополнительное сервисное оборудование позволяет организовать низкочастотную служебную связь в двух направлениях, межстанционную служебную связь и связь по цифровому каналу со скоростью 32 кбит/с. Причем, последний может быть использован и для передачи сигналов данных – дискретной информации. Функции сервисного оборудования могут быть переданы командой оператора на ЭВМ центра технического обслуживания (ЦТО) АТС.

Имеется также система ИКМ-30 для организации связи по однокабельному варианту на кабелях типа КСПП – $1 \times 4 \times 1,2$ или КСПП – $1 \times 4 \times 0,9$. Эта система позволяет также иметь выделенный общий канал сигнализации ОКС со скоростью 64 кбит/с и имеется возможность производить выделение части каналов и разделение группового потока на отдельные цифровые каналы по 64 кбит/с каждый. Для этого в системе ИКМ-30 используется так называемая станция разветвления (СР). В одной системе возможно осуществить связь одной центральной станции (ЦС) с не более 7-ю оконечными станциями (ОС) с помощью трех СР по схеме «квадрат» (рис. 4.15) или «треугольник» (рис. 4.16):

Каждая станция ЦС; РС; ОС может быть питающей. Расстояние между станциями может достигать 90 км (при диаметре жил 0,9 мм) и 110 км (при диаметре жил 1,2 мм). Число необслуживаемых регенерационных пунктов (НРП) между ними не более 28.

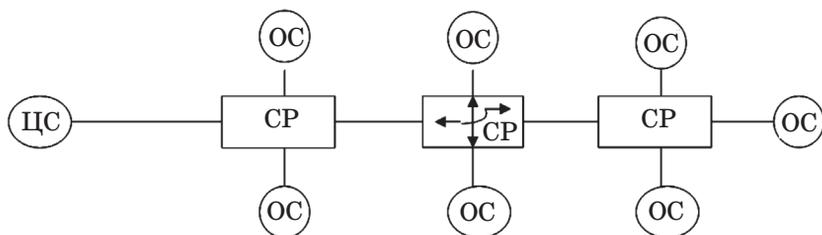


Рис. 4.15. Схема станций разветвления ИКМ с помощью квадрата

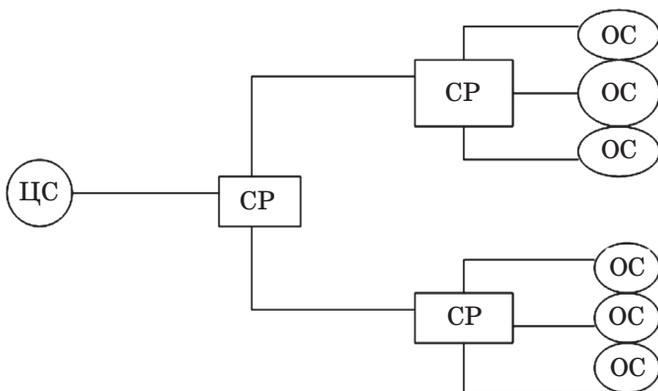


Рис. 4.16. Схема станций разветвления ИКМ с помощью треугольника

4.7. Регенерация сигналов. Схема регенераторов. Выделение тактовой частоты

Наиболее важной особенностью цифрового способа передачи сигналов является возможность восстановления переданной импульсной последовательности после прохождения ее через среду, вносящую помехи. Импульсная последовательность восстанавливается с помощью регенераторов, размещаемых вдоль линии через некоторые интервалы. Участком регенерации называют сочетание кабельного участка и регенератора. Регенераторы выполняют три основные функции: корректирование формы принимаемых импульсов, хронирование (восстановление временных интервалов) и собственно регенерацию.

Это функциональное деление отражено на рисунке 4.17, где представлена структурная схема одного регенерационного участка.

В данном случае предполагается, что импульсная последовательность на выходе предыдущего регенератора (точка 1 на рисунке) состоит из серии положительных и отрицательных импульсов и пробелов. Импульсы, появляющиеся на входе данного регенератора

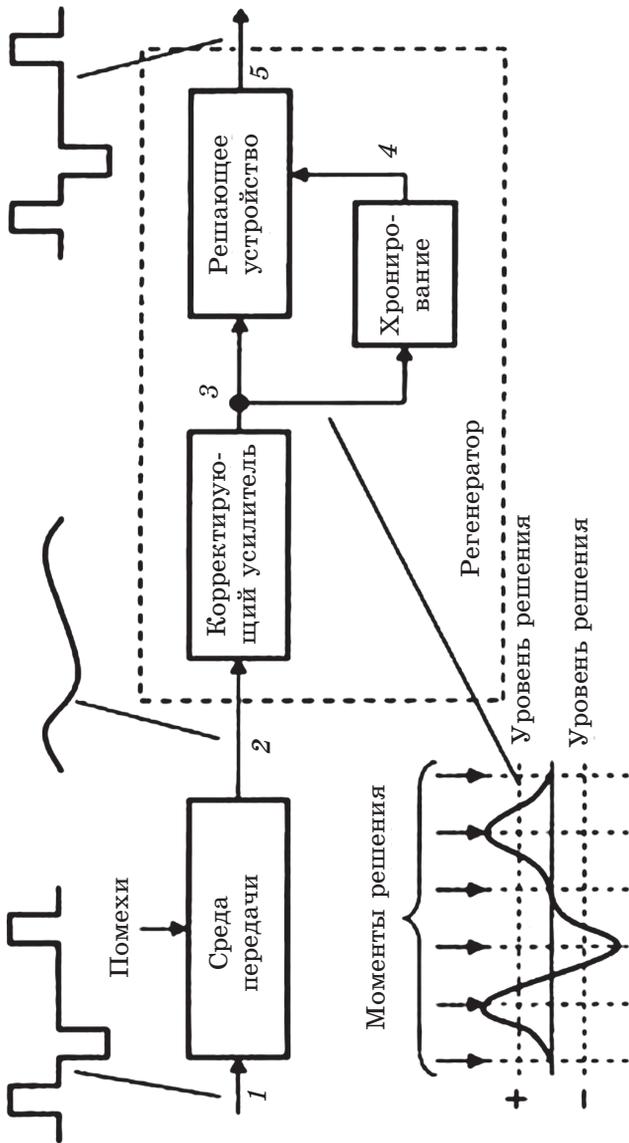


Рис 4.17. Структурная схема участка регенерации

(точка 2), искажены как из-за передачи по кабелю, так и в результате воздействия помех. С помощью корректирующего усилителя исправляется форма импульсов и увеличиваются амплитуды импульсов до величин, обеспечивающих возможность принятия решения о наличии или отсутствии импульса. Окончательное восстановление импульсной последовательности производится с помощью операций хронирования и регенерации, осуществляемых одновременно. Регенерация импульса возможна только в тот момент времени, когда сумма амплитуд принимаемого импульса и помехи в точке 3 (точке решения регенератора ТРР) превышает уровень решения (порог) и когда сигнал на выходе канала выделения хронизирующего сигнала (точка 4) имеет заданную амплитуду и полярность (момент решения). Хронизирующий сигнал обеспечивает, во-первых, дискретизацию скорректированных импульсов в моменты времени, характеризующиеся максимальной величиной отношения сигнал/помеха, и, во-вторых, поддержание надлежащей расстановки импульсов во времени.

В идеальном случае восстановленная импульсная последовательность на выходе регенератора (точка 5) будет являться точной копией импульсной последовательности в точке 1. На практике восстановленная последовательность импульсов может отличаться от исходной. Во-первых, если помеха в момент решения имеет достаточно большую амплитуду, то может быть принято неправильное решение, в результате чего появится ошибка. Ошибки такого типа в декодированных аналоговых сигналах проявляются в виде шума. Во-вторых, интервалы между импульсами могут отличаться от их заданных значений, т.е. имеют место фазовые флуктуации положений импульсов. Эти флуктуации импульсов проявляются в аналоговых сигналах в виде помех дискретизации и увеличивают вероятность появления ошибки в последующих регенераторах. В третьих, импульсы могут отличаться друг от друга по форме, например, из-за неточности установки питающих

напряжений импульсы разной полярности могут иметь разную амплитуду, что увеличивает вероятность появления ошибки в следующем регенераторе.

Самым распространенным способом передачи синхронизирующего (хронирующего) сигнала в системах тактовой синхронизации является способ передачи его в составе линейного сигнала.

Хронирующий сигнал – спектральная составляющая тактовой частоты линейного сигнала. Поэтому выделение этой спектральной составляющей из линейного сигнала является весьма распространенной операцией, которая осуществляется устройством, называемым выделителем составляющей тактовой частоты (ВТЧ). Вход ВТЧ может быть подключен к линейному тракту или перед линейным регенератором (прямое выделение), или после него (обратное выделение, выделение с обратной связью). При использовании второго способа качество выделенного сигнала может быть, но есть вероятность того, что система потеряет устойчивость (в ней возникнут самопроизвольные колебания). Как в том, так и в другом случае схема ВТЧ обычно имеет вид, показанный на рисунке 4.18.

Выделитель составляющей тактовой частоты состоит из преобразователя кода ПК, ограничителя амплитуд снизу ОАН, полосового фильтра ПФ и ограничителя амплитуд сверху ОАВ. Далее на рисунке показаны

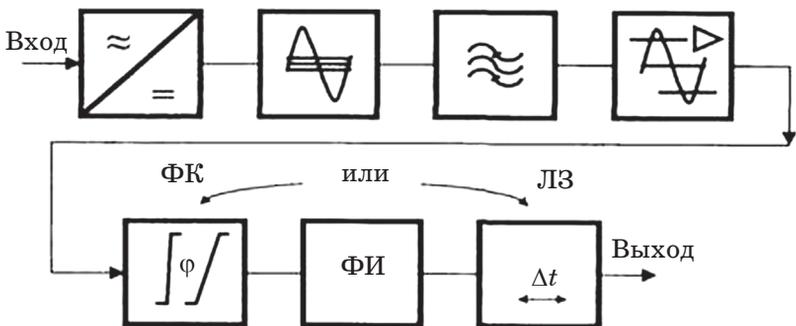


Рис. 4.18. Структурная схема выделителя тактовой частоты

фазовый корректор ФК, формирователь импульсной последовательности ФИ и линия задержки ЛЗ.

Назначение ПК – преобразовать линейный код, если в нем отсутствует составляющая тактовой частоты. Например, квазитроичный код должен быть преобразован так, чтобы все импульсы имели одну и ту же полярность, в двухуровневом коде с импульсами, затянутыми на тактовый интервал, должна быть осуществлена замена данных импульсов на биимпульсы и так далее. На рисунке 4.19, *а* показаны прямоугольные импульсы квазитроичного кода на передаче и их форма на приеме после коррекции искажений, а на рисунке 4.19, *б* – форма этих импульсов на выходе преобразователя кода ПК.

Ограничитель амплитуд снизу ОАН, куда далее поступает сигнал, предназначен для увеличения скважности принимаемых импульсов (рис. 4.19, *в*). Увеличение коэффициента скважности принимаемых импульсов приводит к увеличению в сигнале спектральной составляющей тактовой частоты. На рисунке 4.20 показаны огибающие спектров сигнала до и после ОАН. Очевидно, что на выходе ОАН спектральная составляющая тактовой частоты имеет большую величину и, следовательно, ее выделение более надежно.

Главным элементом ВТЧ является устройство с узкой полосой пропускания, которое, собственно, и выделяет из спектра сигнала составляющую тактовой частоты.

Обычно это полосовой фильтр ПФ; на рисунке 4.19, *г* приведена кривая на его выходе. Далее сигнал поступает на ограничитель амплитуд сверху ОАВ, стабилизирующий амплитуду сигнала (рис. 4.19, *д*). Обычно ОАВ выполняется в виде резонансного усилителя, работающего в режиме отсечки сигнала сверху. Формирователь импульсов ФИ формирует импульсную последовательность (рис. 4.19, *е*), которая и используется для синхронизации генераторного оборудования приемной станции. Следует отметить, что ФИ характери-

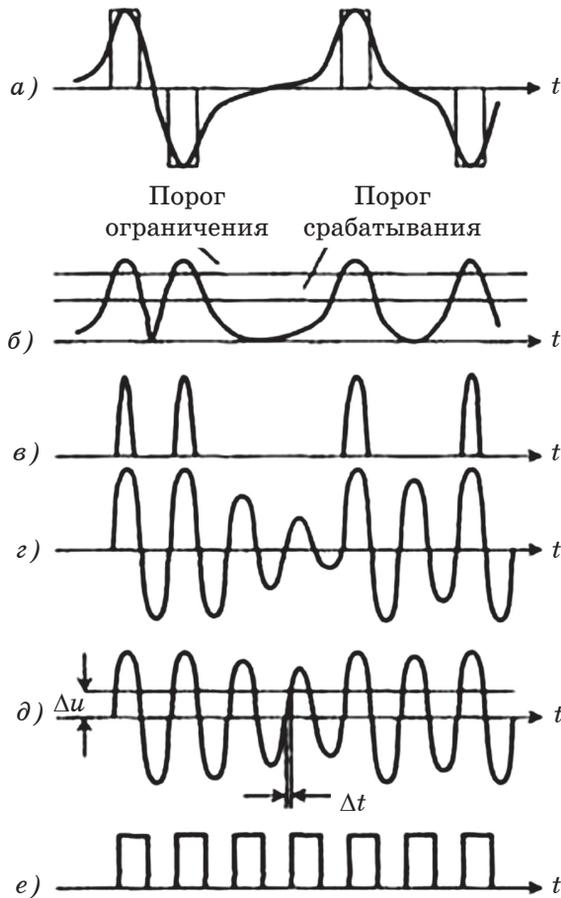


Рис. 4.19. Форма сигнала в различных точках выделителя тактовой частоты

зуется конечным порогом срабатывания Δu , из-за чего формируемые импульсы оказываются смещенными во времени на случайные величины Δt . Иными словами, формируемые импульсы «дрожат» на оси времени, это явление носит название *джиттера* или *вандера*, если смещение происходит медленно.

Джиттер приводит к увеличению числа ошибок на приеме, а вандер является источником шумов дискретизации в каналах цифрового линейного тракта. Очевид-

но, что эти временные или, иначе, фазовые отклонения пропорциональны величине Δu порога срабатывания ФИ и обратно пропорциональны скорости убывания амплитуд переходного процесса, возникающего при появлении в сигнале большого числа следующих друг за другом нулевых символов (большого пакета нулей). Скорость убывания амплитуд можно характеризовать периодом усреднения N_{cp} фильтра, т.е. числом периодов отклика на единичный импульс, при котором амплитуда отклика убывает на порядок (на 20 дБ).

$$N_{\text{cp}} = \frac{f_0}{\Delta f_{20}}. \quad (4.5)$$

Здесь f_0 – средняя частота полосы пропускания ПФ (в данном случае равная тактовой частоте), а Δf_{20} – половина полосы пропускания фильтра на уровне 20 дБ. Например, в системе ИКМ-480 тактовая частота равна 34368 кГц, а полоса пропускания ПФ ВТЧ на уровне 20 дБ составляет 17 кГц, что соответствует $N_{\text{cp}} \sim 4000$. Такие большие пакеты нулей в сигнале практически не встречаются, что гарантирует устойчивую работу ВТЧ. К сожалению, величина джиттера определяется не столько скоростью убывания амплитуды выделенного сигнала, а сколько величиной смещения частоты выделяемого сигнала относительно средней частоты полосы пропускания фильтра. При этом за счет несимметричного выделения фильтром полос непрерывного спектра, примыкающих к синхросигналу (рис. 4.20), последний приобретает квадратурную составляющую, т.е. оказывается модулированным по фазе.

Это смещение практически всегда имеет место из-за изменения (в пределах допуска) частоты задающего генератора оборудования передачи. Поэтому полосу пропускания ПФ обычно выбирают относительно широкой; так, в системе ИКМ-480 допустимая абсолютная нестабильность тактовой частоты равна ± 688 Гц, а полоса пропускания ПФ, как уже говорилось, составляет

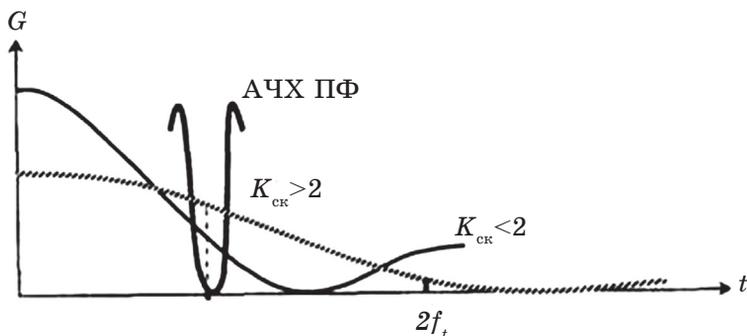


Рис 4.20. Огибающие спектров сигнала до ($K_{ср} > 2$) и после ($K_{ср} < 2$) ОАН

17 кГц. Это на порядок больше величины, необходимой для захвата и удержания синхросигнала системой ведомого генератора, смещение же тактовой частоты в этом случае не приводит к заметному нарушению симметрии боковых полос.

Формируемая на выходе ВТЧ импульсная последовательность используется не только для синхронизации задающего генератора генераторного оборудования, но и для управления решающими устройствами регенераторов.

4.8. Линейные коды, используемые в цифровых системах передачи

В ЦСП аналоговые сигналы кодируются в цифровой двоичный сигнал, который представляет собой униполярный (однополярный) цифровой поток. Для эффективной передачи цифрового сигнала по линейному тракту необходимо менять его структуру. С этой целью передающее и приемное оконечное оборудование линейного тракта содержит преобразователь кода передачи $ПК_{пер}$ и приема $ПК_{пр}$ соответственно. Кодированный цифровой сигнал, который передается по линейному тракту, называется *линейным цифровым сигналом*. В существующих ЦСП на линиях связи чаще применяют

трехуровневые линейные сигналы, так как в этом случае преобразование кодов и регенерация сигнала осуществляются наиболее просто.

В системах с ИКМ широкое распространение получил код с чередованием полярности импульсов – ЧПИ (AMI – Alternate Mark Inversion), представляющий собой двуполярный трехуровневый код, в котором символу 0 соответствует пауза, а символы 1 – двоичной последовательности, которые передаются поочередно импульсами положительной и отрицательной полярности (рис. 4.21).

Основным недостатком кода ЧПИ является возможность появления в передаваемой последовательности длинной серии нулей, что может привести к срыву работы устройств выделителей тактовой частоты УВТЧ.

Поэтому в системах передачи с ИКМ также находит применение модифицированный код ЧПИ. Суть модификации кода ЧПИ состоит в том, что пауза, длина которой превышает n нулей, заменяется определенной комбинацией. Наибольшее распространение получил код с высокой плотностью единиц третьего порядка КВП-3 (HDB3 – HighDensityBipolarcode of order 3), у которого $n=3$ (рис. 4.21).

Алгоритм формирования кода КВП-3 заключается в следующем. До тех пор, пока не появится более трех следующих подряд нулевых символов, этот код формируется так же, как и код с ЧПИ. Если в двоичном коде появляются четыре или более нуля, то каждая комбинация из четырех последовательных нулей замещается одной из комбинаций, имеющих условное обозначение 000V или V00V. Выбор замещающей комбинации производится исходя из следующих условий:

- полярность импульса V всегда противоположна полярности предшествующего импульса;
- полярность импульса V всегда совпадает с полярностью предшествующего импульса;
- если после последней замены и до следующей паузы с числом нулей равным или большим четырем было четное число единиц, то эта пауза заменяется комбинацией

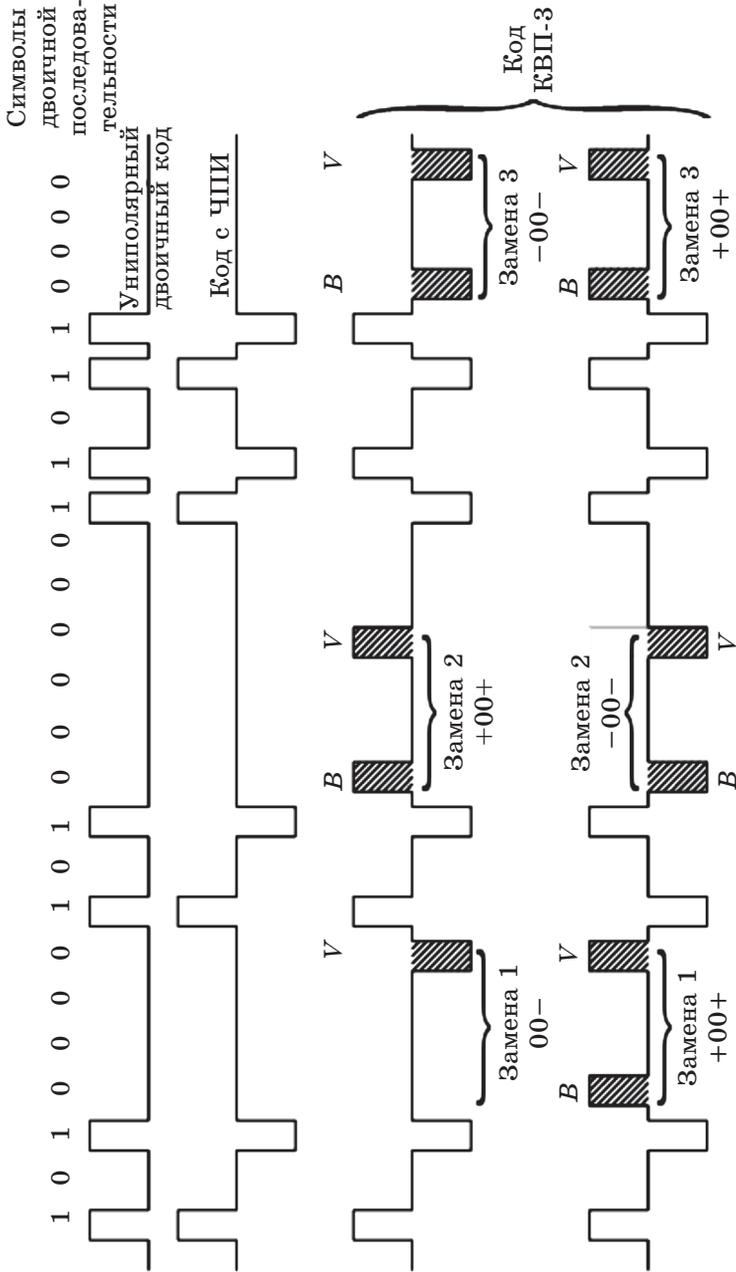


Рис 4.21. Коды линейных цифровых сигналов ИКМ

цией вида В00V, если число единиц нечетное, то комбинацией 000V.

На приемной стороне замены распознаются по нарушению правила чередования полярностей и обратно замещаются комбинациями 0000. Правило выбора замещающей комбинации при замене последовательности из четырех и более нулей представлено в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Правило выбора вида замещающей комбинации для кода КВП-3

Полярность последнего импульса перед заменой	Вид замещающей комбинации для числа импульсов после последней замены	
	нечетного	четного
–	000–	+00+
+	000+	–00–

При таком кодировании не может быть последовательности, содержащей более трех нулей подряд, а также происходит систематическое изменение полярности импульсов. Это ведет к выравниванию количества положительных и отрицательных импульсов в передаваемом сигнале, что обеспечивает уменьшение уровня низкочастотных составляющих и улучшает работу устройств выделителей тактовой частоты УВТЧ.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается принцип построения ВРК?
2. Какова структура сигнала первичного цифрового канала?
3. В чем заключается принцип организации с ИКМ?
4. Что такое Е1-поток?
5. Каково построение оконечной станции ИКМ-30?
6. В чем заключается принцип регенерации сигналов?
7. Какие бывают типы линейных кодов?

5. СПОСОБЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

5.1. Иерархия цифровой системы передачи, построенной на основе ИКМ

Первичные цифровые потоки (ИКМ-30) могут объединяться для увеличения скорости передачи информации по одному групповому тракту. При этом за одно и то же время, например длительность цикла, нужно передать число канальных интервалов в несколько (n) раз большее, чем в первичном потоке. Это означает, что длительность передаваемых импульсов в n раз должна быть короче.

Объединение осуществляется следующим образом (рис. 5.1). Входные цифровые последовательности поступают параллельно на входы запоминающих устройств, где их часть записывается. После окончания записи осуществляется поочередное считывание в общую нагрузку за более короткое время. В запо-

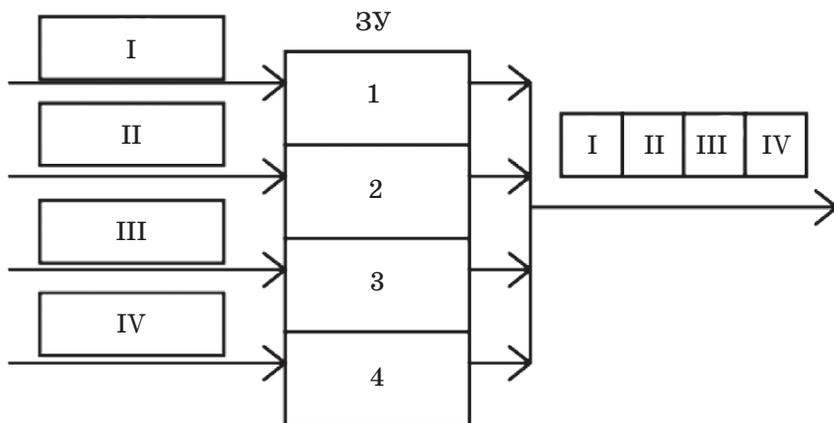


Рис. 5.1. Объединение цифровых потоков

минающее устройство (ЗУ) может записываться один символ (побитовая запись) или группа символов. Чаще всего во втором случае записываются байты (побайтная запись).

При объединении и разделении цифровых потоков различают три случая:

- 1) синфазно-синхронное объединение;
- 2) синхронное объединение;
- 3) асинхронное объединение.

При синфазно-синхронном объединении (рис. 5.2) равны скорости объединяемых потоков (один и тот же тактовый генератор) и все они поступают без задержки в один и тот же момент времени (с одинаковой фазой).

При синхронном объединении (рис. 5.3) скорости входных потоков по прежнему равны, но моменты их прихода на ЗУ разные вследствие задержки в каналах связи. В этом случае в каждом канале для синхронизации вводятся несколько служебных байтов (А, В). Помимо функции синхронизации эти байты могут нести и другую служебную информацию. Так как эти байты должны быть переданы вместе с информацией за неизменное время $T_{ц}$, то скорость считывания будет больше, чем при синфазно-синхронном объединении. Например, если на каждые 32 байта входной последо-

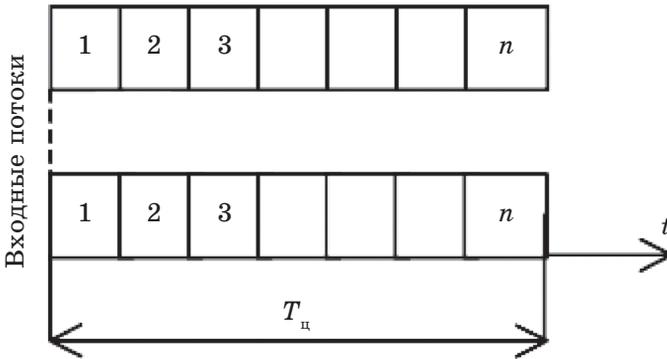


Рис. 5.2. Синфазно-синхронное объединение

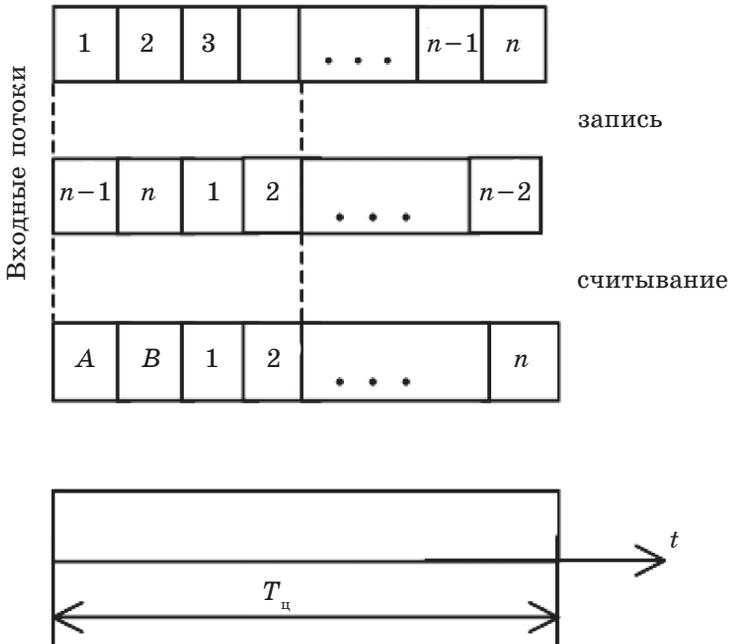


Рис. 5.3. Синхронное объединение

вательности добавляется один служебный, увеличение скорости будет равно $33/32$.

В случае асинхронного объединения помимо фазовой задержки входные потоки могут иметь еще и разные скорости. Обычно это характерно для плезиохронных систем передачи, когда генераторное оборудование на передающей стороне имеет свои автономные генераторы тактовой частоты. Частоты этих генераторов не могут совпадать абсолютно точно, т.е. содержат разброс по тактовой частоте Δf_T . Кроме того, любому генератору присуща нестабильность частоты, что увеличивает разброс и делает его случайным. Поэтому разница между скоростью при записи $V_з$ и скоростью при считывании $V_с$ может быть как положительной, так и отрицательной. И в том и в другом случае скорость записи и считывания надо согласовывать. Изменить тактовую частоту генератора считывания мы не можем, потому

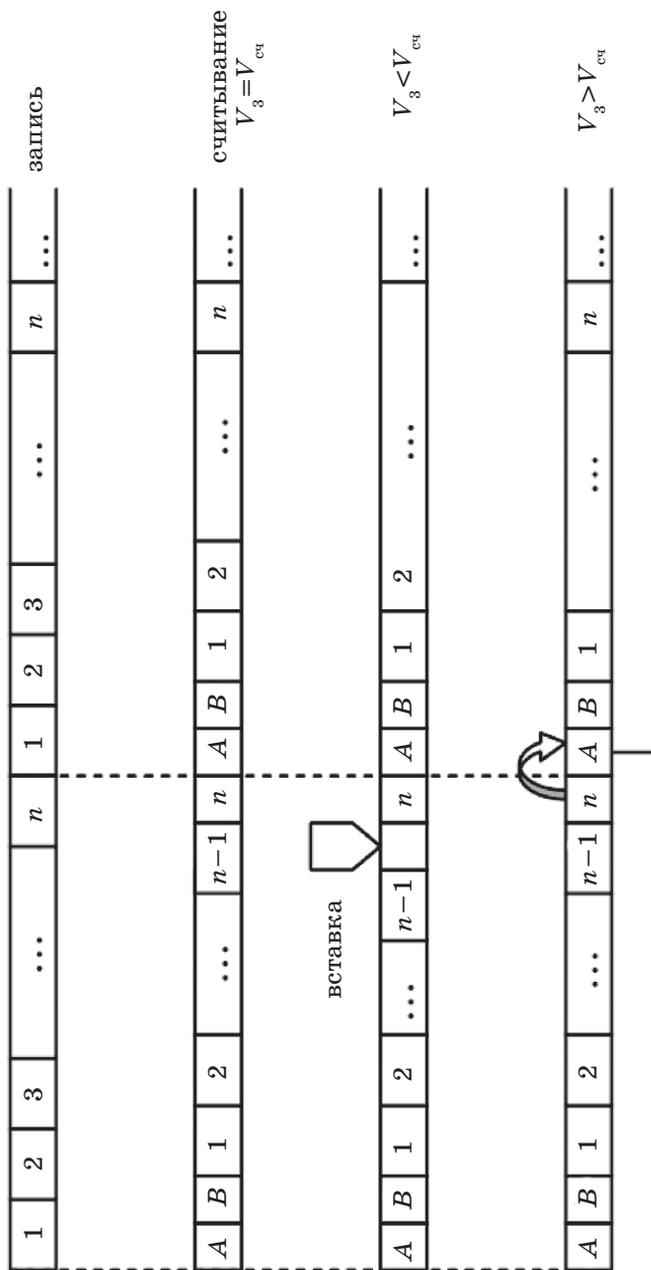


Рис. 5.4. Асинхронное объединение каналов

что он один для всех входных потоков. Следовательно, нужно изменять скорость каждого из них при записи (рис. 5.4).

Если $V_3 = V_c$, никакого согласования не нужно. При $V_3 < V_c$ имеем дело с положительным согласованием скоростей (ПСС). В этом случае процесс считывания происходит раньше положенного времени и образуется временная пауза, которая увеличивается со временем. В определенный момент эта пауза становится равной длительности импульса посылки и следящее устройство ЦСП вырабатывает команду на ПСС.

По этой команде в конце цикла процесс считывания задерживается на одну позицию так, как будто между двумя информационными импульсами (63 и 64) вставим «пустой». Эту процедуру называют *торможением*, или «стаффингом» от слова «вставка». При $V_3 > V_c$ (отрицательное согласование скоростей – ОСС), для 64 импульса не хватает позиции. По команде согласования скоростей (КСС) последний 64 импульс передается вместо одного из служебных.

Управление согласованием скоростей осуществляется посредством КСС, которые вырабатываются в самом устройстве объединения (мультиплексоре) по мере того, как задержка или опережение достигают критического значения. В оборудование разделения потоков КСС поступают в байтах служебной информации на определенных позициях. Обычно используют систему двустороннего (положительного и отрицательного) согласования скоростей, хотя она и сложнее односторонней. В двусторонней системе необходимость подачи КСС возникает гораздо реже, а следовательно и меньше вероятность ошибки согласования. Поскольку ошибка в согласовании скоростей приводит к потере синхронности передачи, а следовательно к разрыву связи, при передаче КСС принимают специальные меры: для повышения помехозащищенности команд каждый бит информации КСС передается три раза, а также применяется специальный алгоритм обработки принятых команд, позволяющий исключать ошибки

согласования, даже если отдельные КСС будут опознаны неверно.

Описанные выше принципы организации первичных цифровых потоков (ИКМ-30) и их объединение позволили предложить плезиохронную цифровую иерархию ЦСП (рис. 5.5).

Здесь на каждой ступени объединения группируются четыре цифровых потока и к ним добавляются служебные символы, в которых помещаются сигналы синхронизации объединенного потока, команды согласования скоростей каждого из объединяемых потоков и информация, которая исключается из потока при отрицательном согласовании скоростей.

Рассмотрим временной план вторичной группы (рис. 5.6). Временной спектр (цикл передачи) вторичной ЦСП с ИКМ (ИКМ-120) является типичным для всех ЦСП с ИКМ высших ступеней плезиохронной иерархии.

Цикл передачи имеет длительность 125 мкс и состоит из 1056 позиций. Цикл разделен на четыре субцикла, одинаковых по длительности. Первые восемь позиций первого субцикла заняты комбинацией 111001100, представляющей собой цикловой синхросигнал объединенного потока. Остальные 256 позиций первого субцикла (с 9-ой по 264-ю включительно) заняты информацией посимвольно объединенных исходных потоков, номера которых отмечены на рисунке под номерами позиций. Первые четыре позиции второго субцикла заняты первыми символами КСС объединяемых потоков, а следующие четыре – сигналами служебной связи. Вторые и третьи символы КСС (команда положительного согласования) имеет вид 111, а отрицательного – 000 занимают первые четыре позиции субциклов III и IV. Позиции 5–8 субцикла III используются для передачи сигналов дискретной информации (две позиции), аварийных сигналов (одна позиция) и вызова по каналу служебной связи (одна позиция). Наконец, в субцикле IV на позициях 5–8

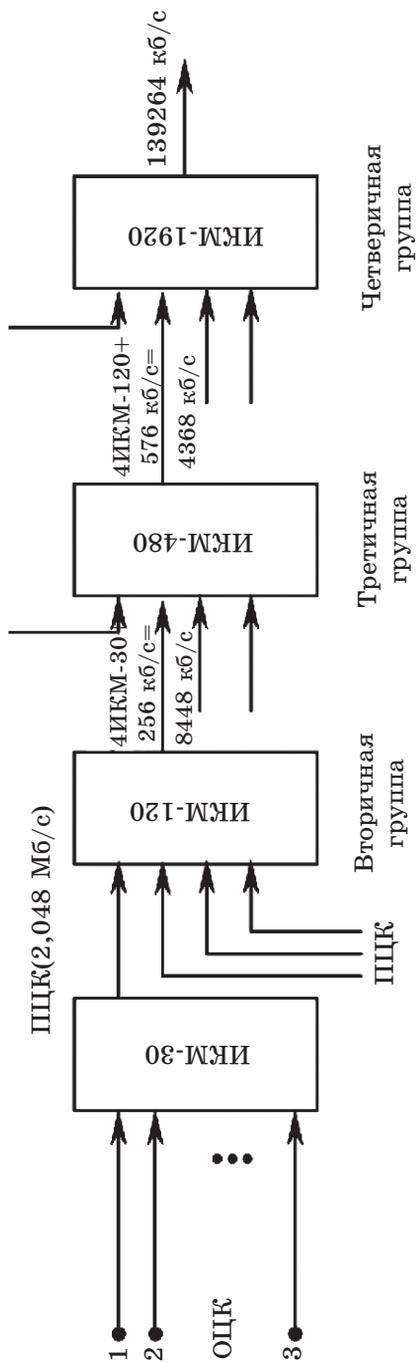


Рис. 5.5. Плезисохронная цифровая иерархия

передается информация объединяемых потоков при отрицательном согласовании скоростей. При положительном согласовании исключаются позиции 9–12 субцикла IV. Поскольку операция согласования скоростей осуществляется не чаще, чем через 78 циклов, позиции 6–8 субцикла IV, предназначенные для передачи информации при отрицательном согласовании, большую часть времени свободны и используются для передачи информации о промежуточных значениях и характере изменения паузы. Таким образом, из общего числа позиций, равного 1056, информационными являются 1024 ± 4 позиции.

Разделение цикла передачи на несколько субциклов имеет следующие преимущества. Во-первых, это позволяет разнести во времени символы КСС, что повышает защищенность этих команд от импульсных помех, поскольку импульсные помехи обычно группируются в пакеты, воздействующие на несколько следующих друг за другом импульсов. Во-вторых, поскольку при приеме служебной информации прекращается считывание информации из ЗУ, выделяемый информационный поток обладает неравномерностью, которая должна сглаживаться системой ФАПЧ. Работа ФАПЧ сопровождается фазовыми флуктуациями импульсов выделенного потока, которые снижаются, если снижается неравномерность, а она тем меньше, чем больше субциклов содержится в цикле передачи. Наконец, в-третьих, задержка считывания информации объединяемых потоков из ЗУ как на передаче, так и на приеме на время прохождения служебной информации заставляет увеличивать емкость памяти ЗУ. Очевидно, что это увеличение тем меньше, чем больше субциклов содержится в цикле, и составляет для рассматриваемого случая две ячейки плюс еще одна на время проверки КСС на отсутствие ошибок. Общее число ячеек ЗУ существующих ЦСП составляет от пяти до восьми и должно быть увеличено по крайней мере втрое при отсутствии деления цикла передачи на субциклы.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	...	263	264
1	1	1	0	0	1	1	0	1	2	3	4	1	2	3	4	1	...	3	4
Цикловой синхросигнал																			

№ I
Субцикл I

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	...	263	264
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	...	3	4
Служебная связь																			

№ II
Субцикл II

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	263	264					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	...	3	4					
ДЦ													Выз. СС				
Авар. и ситн.																	

№ III
Субцикл III

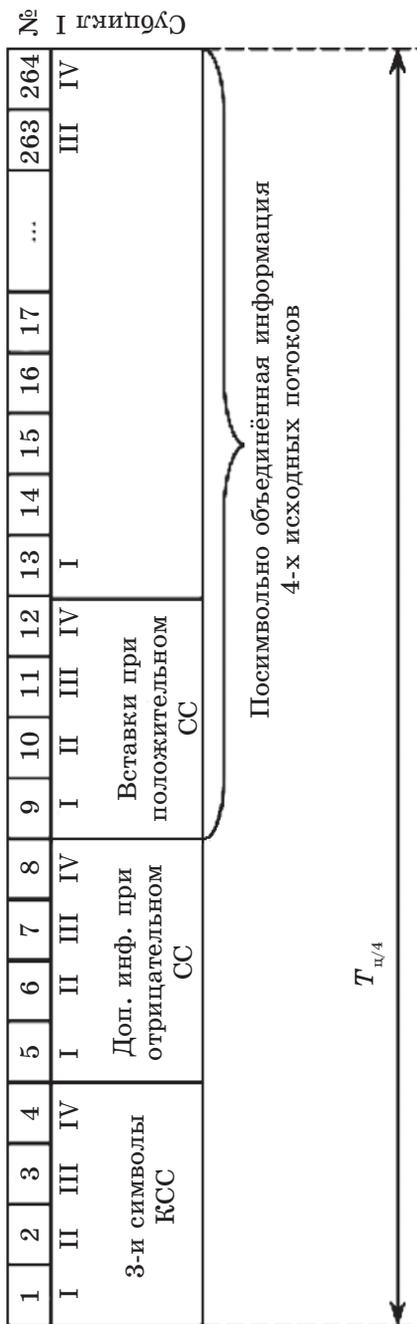


Рис. 5.6. Временной спектр ЦСП ИКМ-120

5.2. Объединение цифровых потоков в плезиохронной цифровой иерархии

Плезиохронная цифровая иерархия включает в себя три стандарта скоростей, сложившихся к началу 80-х годов. Первый стандарт, называемый североамериканским (принятый в США и Канаде), где скорость первичного цифрового потока ПЦК (или DS1 – Digital Signal of level 1) была выбрана равной 1544 кбит/с, соответствующая 24 ДСО (ОЦК). Вторым стандартом, принятым в Японии, используется та же скорость первичного цифрового потока, что и североамериканский стандарт, т.е. DS1. В третьем стандарте, принятом в Европе и Южной Америке, скорость первичного цифрового потока – ПЦК была выбрана равной скорости 2048 кбит/с. Такая скорость соответствует 32 ОЦК. Фактически используются 30 ОЦК плюс два канала синхронизации и управления со скоростью передачи 64 кбит/с.

Первый стандарт ПЦИ включает в себя следующую иерархическую последовательность скоростей 1544 (или DS1) – 6312 (или DS2) – 44 736 (или DS3) – 274 176 (или DS4) кбит/с (округленно: 1,5–6–45–274 Мбит/с). Такая последовательность соответствует ряду коэффициентов мультиплексирования; $n=24$ для формирования сигнала DS1 из 24 сигналов ДСО, $m=4$ для формирования сигнала DS2 из 4 сигналов DS1, $i=7$ для формирования сигнала DS3 из 7 сигналов DS2 и $k=6$ для формирования сигнала DS4 из 6 сигналов DS3. Данный стандарт ПЦИ позволяет организовать 24, 96, 672 и 4032 канала ДСО (или ОЦК).

Цифровые сигналы уровней DS1–DS2–DS3–DS4 обычно называют первичным цифровым каналом (поток) – ПЦК (П), вторичным цифровым каналом (поток) – ВЦК (П), третичным цифровым каналом (поток) – ТЦК (П) и четверичным цифровым каналом (поток) – ЧЦК (П) соответственно.

Второй стандарт ПЦИ, порожденный скоростью 1544 кбит/с, давал последовательность 1544 (или DS1) –

6312 (или DS2) – 32 064 (или DSJ3) – 97728 (или DSJ4) кбит/с (ряд приближенных величин составляет 1,5–6–32–98 Мбит/с). Коэффициенты мультиплексирования для данного стандарта* соответственно, равны $n=24$, $m=4$, $i=5$, $k=3$. Указанная иерархия позволяет организовать 24, 96, 480 и 1440 каналов DS0 (или ОЦК). Здесь сигналы DSJ3 и DSJ4 называются цифровыми каналами (или потоками) 3-го и 4-го уровней японской ПЦИ.

Третий стандарт ПЦИ, основанный на скорости 2048 кбит/с, порождает последовательность 2048 (или E1: первичный цифровой канал-поток) – 8448 (или E2: вторичный цифровой канал-поток) – 34 368 (или J3: третичный цифровой канал-поток) – 139 264 (или E4: четверичный цифровой канал-поток) – 564992 (или E5: пятиричный цифровой канал-поток) кбит/с или приближенно 2–8–34–140–565 Мбит/с, что соответствует коэффициентам мультиплексирования, равным $n=30$, $m=i=k=4$. Указанный стандарт позволяет передавать, соответственно, 30, 120, 480, 1920 и 7680 ОЦК, что обычно ассоциируется в названии цифровых систем передачи ИКМ-30, ИКМ-120, ИКМ-480 и ИКМ-1920.

Схема мультиплексирования цифровых потоков ПЦИ различных стандартов представлена на рисунке 5.7.

Во-первых, параллельное развитие трех различных стандартов ПЦИ сдерживало развитие глобальных телекоммуникационных сетей в мире и поэтому Международным союзом электросвязи по телекоммуникациям (МСЭ-Т) были сделаны шаги по их унификации и возможному объединению. В результате был разработан стандарт, согласно которому во-первых, были стандартизованы три первых уровня первого стандарта ПЦИ (DS1-DS2-DS3), четыре уровня второго стандарта (DS1-DS2-DSJ3-DSJ4) и четыре уровня третьего стандарта ПЦИ (E1-E2-E3-E4) в качестве основных при построении цифровых систем передачи на основе ИКМ и временного разделения каналов и указаны схемы кроссмультимплексирования стандартов, например, из третьего стандарта в первый (с первого на второй уро-

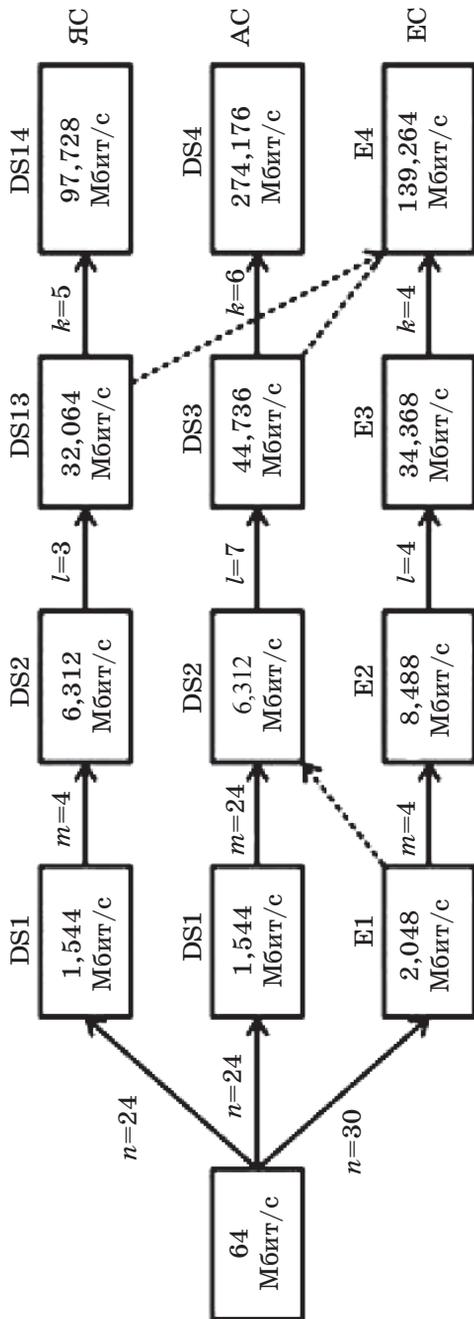


Рис. 5.7. Схема мультиплексирования (---) и кросс-мультиплексирования (—>) в североамериканском (САС), японском (ЯС) и европейском (ЕС) стандартах ПЦИ

вень) и обратно (с третьего на четвертый уровень), что и показано на рисунке 5.8 (коэффициенты мультиплексирования показаны на линиях связи блоков), представляющих скорости передачи).

Во-вторых, была сохранена ветвь 32 064... 97 728 кбит/с (округленно 32...98 Мбит/с) во втором стандарте, т.е. уровни DSJ3 и DSJ4, параллельные уровням DS3 в первом стандарте и Б4 в третьем стандарте. Уровень DSJ3 фактически соответствует уровню ЕЗ, что облегчает кросс-мультиплексирование со второго уровня на третий.

Принцип объединения цифровых потоков состоит в сжатии во времени объединяемых цифровых потоков при неизменности структуры этих потоков. Технически сжатие во времени осуществляется с использованием устройств памяти, запись в которые осуществляется с меньшей скоростью, чем считывание записанной информации. Таким образом, устройство объединения цифровых потоков состоит из ячеек памяти, в которые записывается и считывается информация. Существуют 2 метода объединения потоков: посимвольное и поканальное. Отличие между этими принципами только техническое. При формировании группового цифрового сигнала-потока возможны следующие способы объединения цифровых потоков: посимвольное (рис. 5.8, а) и поканальное (рис. 5.8, б) В обоих случаях объединяются четыре потока. При посимвольном объединении импульсы цифровых сигналов, объединяемых цифровым потоком, укорачиваются и распределяются по времени так, чтобы в освободившихся интервалах могли разместиться объединяемые импульсы других потоков. При поканальном объединении цифровых потоков сужаются и распределяются во времени интервалов, отводимых для кодовых групп. Синхросигнал необходим для правильного распределения цифровых потоков на приемном конце, отводимых для кодовых групп. Синхросигнал необходим для правильного распределения цифровых потоков на приемном конце.

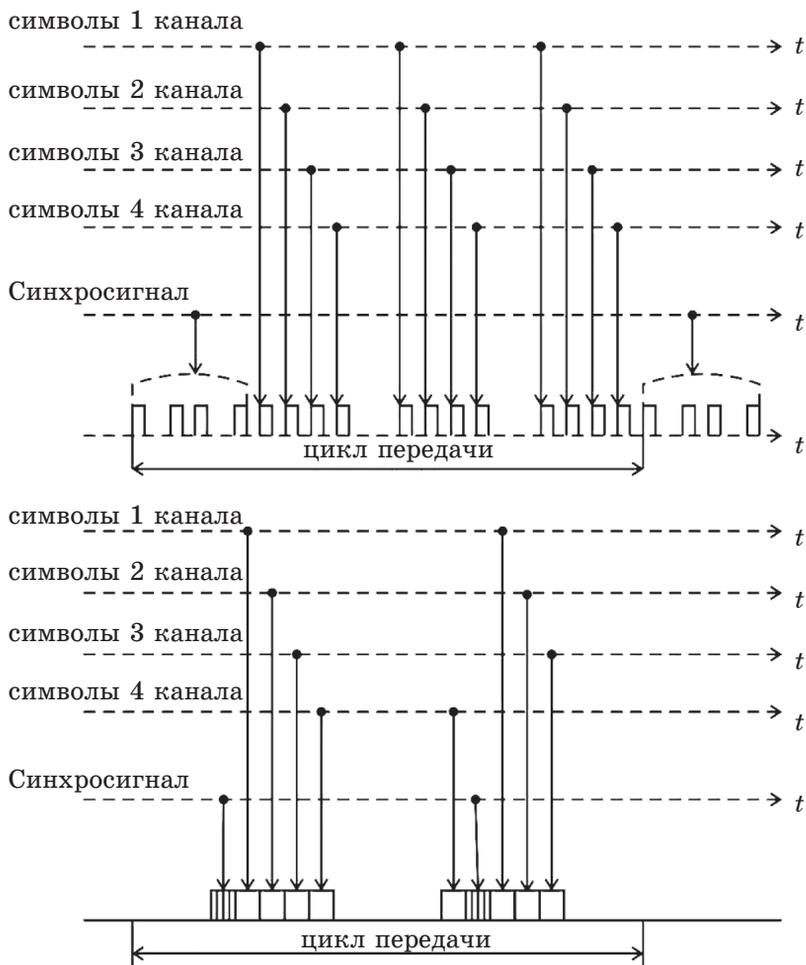


Рис. 5.8. Структура цикла цифровой системы передачи с посимвольным (а) и с поканальным (б) объединением цифровых потоков

5.3. Недостатки систем PDH

Цифровые системы передач PDH в свое время являлись значительным шагом в развитии связи по сравнению с аналоговыми системами. Системы PDH изначально создавались для передачи телефонных сообщений на соединительных линиях между АТС в виде цифровых

сигналов с ИКМ. В качестве среды распространения использовался симметричный или коаксиальный кабель, коэффициент затухания которого возрастал при увеличении тактовой частоты (скорости передачи). При построении более высокоскоростных систем снижалась длина регенерационного участка и требовалось увеличение числа регенераторов, что приводило к существенному увеличению капитальных и эксплуатационных затрат. Благодаря появлению в середине 80-х годов современных волоконно-оптических кабелей оказались достижимыми высокие скорости передачи в линейных трактах ЦСП с одновременным удлинением секции регенерации. Производительность таких линейных трактов превышает производительность цифровых трактов на кабелях с металлическими парами во много раз, что увеличивает их экономическую эффективность. Однако использование существующей плезиохронной системы группообразования цифровых потоков для получения высокоскоростных сигналов приводило к громоздким и малонадежным решениям.

Системы PDH обладают несколькими существенными недостатками:

1) Наличие сразу нескольких иерархий (европейской, американской и японской). Каждая иерархия имеет различные скорости передачи на разных уровнях иерархии, что затрудняет установление международных соединений.

2) Плезиохронный характер мультиплексирования, обуславливающий трудность ввода и вывода каналов в промежуточных пунктах. Для доступа к составляющим (компонентным) цифровым потокам требуется многоступенчатое расформирование группового сигнала. Кроме того, при нарушении синхронизации группового сигнала в PDH сравнительно много времени требуется для многоступенчатого восстановления синхронизации компонентных потоков.

3) Отсутствие возможностей организации дополнительных каналов. В результате этого почти полное

отсутствие средств сетевого автоматизированного контроля и управления, без которых невозможно создать надежную сеть связи с высоким качеством обслуживания.

Преодолеть недостатки, оставаясь в рамках PDH, было невозможно. Поэтому, когда применение волоконно-оптических линий связи позволило существенно повысить скорости передачи, а внедрение цифровых коммутационных станций дало возможность создавать полностью цифровые синхронные сети, началась работа по переходу к SDH.

5.4. Объединение цифровых потоков в синхронной цифровой иерархии

Потребности существенного увеличения объема, надежности и экономичности передачи цифровой информации предопределили необходимость разработки синхронной цифровой иерархии (СЦИ) (Synchronous Digital Hierarchy, SDH). SDH была определена в 1988 году Комитетом по стандартизации ITU-T (International Telecommunications Union – Telecommunication Standardization Sector – сектор телекоммуникаций международного союза электросвязи) и представляет собой качественно новый этап развития связи.

SDH имеет множество особенностей по сравнению с предшествующей ей плезиохронной цифровой иерархией (ПЦИ) (Plesiochronous Digital Hierarchy, PDH). В рамках рекомендаций по SDH разработаны как новая иерархия скоростей передачи и система группообразования цифровых потоков, так и новые методы построения сетей и сетевого управления.

С развитием волоконно-оптической техники появилась возможность построения более гибких высокоскоростных систем. Однако существующие на сетях системы PDH обладали рядом существенных недостатков, которые оказались непреодолимыми, и было принято решение начать работу по переходу к синхронным системам.

Первой синхронной сетью была созданная ANSI – SONET со скоростью цифрового потока 51,84 Мбит/с. Однако иерархия SONET была не приспособлена для передачи плезиохронных потоков европейской иерархии. В 1988 году ITU-T был определен основной иерархический уровень систем SDH равный 155,520 Мбит/с, который удовлетворяет для передачи сигналов всех существующих плезиохронных иерархий.

Уровни SDH определяют структуру цикла и скорость передачи группового сигнала на интерфейсе сетевого узла (Network Node Interface, NNI). На данный момент SDH имеет шесть уровней со скоростями передачи, соответствующими синхронным транспортным модулям STM-N. Базовым уровнем является STM-1 со скоростью обмена 155,52 Мбит/с.

Более высокие иерархические уровни имеют скорость передачи, кратную скорости первого уровня. В отличие от PDH, SDH уровни иерархии определяются шагами по 4, а не «почти» по 4.

Скорость передачи более высокого уровня определяется с помощью выражения 5.1:

$$V_N = N \cdot V_1, \quad (5.1)$$

где $V_1 = 155,520$ Мбит/с – скорость цифрового потока STM-1; $N = 4, 16, 64, 256$ – уровень иерархии.

Широкое применение имеют и другие уровни SDH. SDH занимает ведущее место в транспортных сетях. С введением уровня STM-256 со скоростью передачи около 40 Гбит/с, можно образовать тракт, вмещающий почти полмиллиона каналов 64 кбит/с. Используя разработанную аппаратуру SDH класса DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing – тесное волновое уплотнение), по которой передаются сигналы STM-16/64/256, создаются магистрали огромной пропускной способности на городских и пригородных (местных) сетях, где можно использовать дешевые и легко адаптируемые к условиям применения системы STM-1/4/. SDH активно ис-

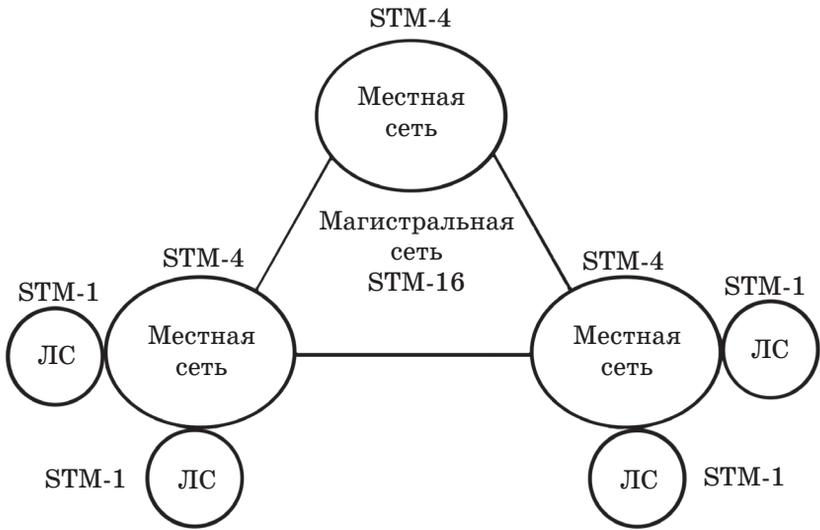


Рис. 5.9. Пример первичной сети, построенной на технологии SDH

пользует оптические сети доступа – между абонентом и первой АТС.

На рисунке 5.9 приведен пример использования уровней в сети SDH.

Данный пример включает первичную сеть SDH, включающую кольца магистральной сети, построенной на потоках STM-16, местных сетей, построенных на потоках STM-4, и локальных сетей (ЛС) с потоками STM-1.

Концепции и определения

При разработке SDH введено много новых концепций и определений, из которых наиболее важными являются: виртуальный контейнер, секция, тракт и маршрут.

1) *Виртуальный контейнер (Virtual Container, VC)* – циклически повторяющаяся информационная структура, предназначенная для «транспортировки» в сети SDH стандартных цифровых потоков PDH, а так-

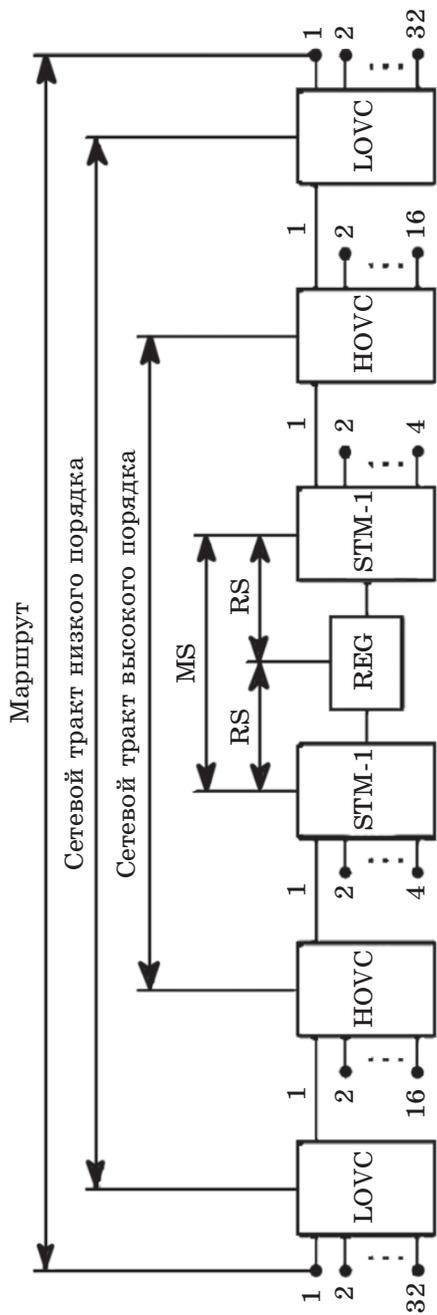


Рис 5.10. Образование трактов и секций в ЦСП SDH

же цифровых сигналов современных телекоммуникационных технологий ATM, B-ISDN и т.д. В зависимости от скорости передачи «транспортируемых» потоков организуются виртуальные контейнеры низкого порядка (LOVC; Low Order VC) и высокого порядка (HOVC; High Order VC). Виртуальные контейнеры, передаваемые и принимаемые в структуре транспортной сети, называются трейлами (trail) VC.

2) *Регенерационная секция (Regenerator section, RS)* – часть среды передачи между окончательным оборудованием линейного тракта и регенератором или между двумя регенераторами.

3) *Мультиплексорная секция (Multiplex section, MS)* – среда передачи между двумя смежными оборудованьями линейными трактами, в одном из которых организуется STM-сигнал, а в другом оканчивается.

4) *Тракт (Path)* – логическое соединение между точкой, в которой «собирается» VC, и точкой, в которой VC «разбирается». В зависимости от VC тракты могут быть низкого порядка и высокого порядка.

5) *Маршрут (Route)* – совокупность каналов, трактов и секций. Маршрут включает в себя средства передачи сигналов и ОАМ-средства и обеспечивает целостность передаваемой информации.

На рисунке 5.10 приведено положение в сети SDH, перечисленных понятий.

Функциональные слои сети SDH

Важной особенностью сети SDH является ее деление на функциональные слои (уровни), которые, в свою очередь, подразделяются на подслои. Каждый слой обслуживает вышележащий слой и имеет определенные точки доступа. Слои имеют собственные средства контроля и управления, что минимизирует операции при авариях и снижает влияние аварий на другие слои. Каждый слой может создаваться и развиваться независимо. Послойное построение сети SDH облегчает создание и эксплуатацию сети и позволяет достичь наи-

Наименование сетевых слоев		
Уровень каналов		
Уровень трактов	Низшего порядка	
	Высшего порядка	
Уровень среды передачи	Секции	Мультиплексорная
		Регенерационная
	Физическая среда	

Рис. 5.11. Сетевая модель SDH

более высоких технико-экономических показателей. Сеть SDH, согласно рекомендации G.803, представлена сетевой моделью (рис. 5.11), состоящей из трех функциональных слоев.

На данной модели верхний слой (уровень каналов) занимает пользователь. Он является клиентом, которого обслуживает низлежащий сетевой слой. Тот, в свою очередь, выступает в роли клиента для следующего слоя и так далее.

Уровень каналов – слой, обслуживающий собственно пользователя.

Терминалы пользователей подключаются к комплектам оконечной аппаратуры SDH соединительными линиями. Сеть каналов соединяет различные комплекты оконечной аппаратуры SDH через коммутационные станции.

Уровень трактов образуется объединением группы каналов в групповые тракты различных порядков. В сети SDH имеется два сетевых уровня трактов – низшего и высшего порядка. В каждом слое может осуществляться коммутация – с помощью аппаратуры оперативного переключения. Сети трактов полностью независимы от физической среды и могут иметь собственную топологию. В слое трактов осуществляется программный и дистанционный контроль и управление соединениями. На уровне среды передачи групповые тракты организуются в линейные, построение которых

зависит от среды передачи (оптическое волокно, радиорелейная линия). Он подразделяется на два: слой секций и слой физической среды. Слой секций SDH состоит из двух секций: MS и RS. MS обеспечивает от начала до конца передачу информации между пунктами, где оканчиваются либо переключаются тракты. RS обеспечивает передачу информации между регенераторами и пунктами окончания или коммутации трактов. В качестве физической среды используются волоконно-оптические или радиолинии (радиорелейные и спутниковые линии).

В сеть SDH могут быть введены дополнительные сетевые слои. В частности, слой тандемных соединений, расположенный между слоями мультиплексорных секций и слоем трактов, который способен повысить степень управляемости транспортной системы SDH, а также слои деления линейных трактов по длинам волн («оптический» сетевой уровень), которые располагаются между слоем волоконно-оптических линий и слоем секций, задачей которого является образование сети волновых каналов. При этом системы SDH поднимаются на второй уровень и работают не непосредственно по оптическим волокнам, а по упомянутым волновым каналам, число которых в одном волокне может достигать нескольких десятков.

Элементы структуры мультиплексирования

Для построения структуры циклов передачи сигналов первого уровня иерархии синхронных ЦСП используются составные элементы, или информационные структуры, формируемые только в системах передачи SDH. К этим элементам относятся:

- 1) контейнер C;
- 2) виртуальный контейнер VC;
- 3) субблок TU;
- 4) групповой субблок TUG;
- 5) административный блок AU;

- 6) групповой административный блок AUG;
- 7) синхронный транспортный модуль STM-1.

Рассмотрим назначение и структуру указанных элементов, которые кратко описаны также в работе. Первым элементом является контейнер.

Контейнеры C_N – это контейнеры уровня N . Каждый контейнер представляет собой фрагмент ЦГС заданной структуры. Он предназначен для размещения (с целью последующего транспортирования) сигналов заданного цифрового потока, т. е. контейнер включает полезную нагрузку, которая представляет собой передаваемый цифровой поток заданной системы передачи, например, плезиохронной ЦСП.

Слово «размещение» больше подчеркивает физический смысл процесса транспортирования сигналов. Логически же происходит отображение структуры цикла передачи передаваемого цифрового потока на структуру размещающего его контейнера как элемента сигнала в системах передачи SDH.

Уровни контейнера соответствуют уровням систем передачи плезиохронной иерархии, т. е. $N=1, 2, 3, 4$, а число типоразмеров контейнеров должно быть равно числу членов объединенного ряда скоростей передачи плезиохронных ЦСП. Действительно, каждый из контейнеров $C-1, C-2$ и $C-3$ должен быть разбит на два подуровня для размещения в них сигналов первичных, вторичных и третичных цифровых потоков соответственно.

Контейнер $C-1$ американской и европейской иерархии плезиохронных ЦСП делится на контейнер $C-11$, в котором размещается цифровой поток $T1=1,544$ Мбит/с, и контейнер $C-12$, в котором транспортируется цифровой поток $E1-2,048$ Мбит/с.

Контейнер $C-2$ разбивается на контейнер $C-21$, размещающий цифровой поток $T2=6,312$ Мбит/с, и контейнер $C-22$, в котором размещается цифровой поток $E2=8,448$ Мбит/с.

Контейнер $C-3$ разбивается на контейнеры $C-31$ и $C-32$, в которые упаковываются цифровые потоки

$E3=34,368$ Мбит/с и $T3=44,736$ Мбит/с соответственно.

Контейнер С-4 не разбивается на контейнеры подуровней, так как четвертый уровень иерархии ЦСП по Рекомендации ITU-T G.702 существует только в европейских плезиохронных ЦСП, поэтому в контейнере С-4 размещается цифровой поток $E4=139,264$ Мбит/с.

Таким образом, числа 4 и 7 индексации контейнеров согласованы между собой и являются обоснованными.

К каждому контейнеру, подлежащему транспортированию по цифровому групповому тракту, добавляется РОН. В результате контейнер превращается в виртуальный контейнер VC, т.е. для каждого VC существует свой контейнер С.

Виртуальные контейнеры VC-N – это одноименные контейнеры соответствующего уровня. Каждый VC представляет собой фрагмент ЦГС заданной структуры, которая образуется объединением сигналов контейнера и трактового заголовка, т.е. условно определяется формулой $VC=C+РОН$. Так как контейнер содержит полезную нагрузку PL (PayLoad), то в некоторых источниках, например, в работах, формула для структуры VC условно представляется в виде: $VC=PL+РОН$.

Виртуальные контейнеры, так же как и контейнеры, имеют четыре уровня: VC-1, VC-2, VC-3 и VC-4. Из них первые три также разбиваются на виртуальные контейнеры подуровней, а именно: VC-1 разбивается на VC-11 и VC-12; VC-2 – на VC-21 и VC-22; VC-3 – на VC-31 и VC-32.

VC-1 и VC-2 являются виртуальными контейнерами низшего порядка, а VC-3 и VC-4 – виртуальными контейнерами высшего порядка. Все они обеспечивают алгоритм формирования ЦГС в сетевом слое трактов. Виртуальные контейнеры вводятся в последующую структуру цикла передачи с помощью дополнительных сигналов-указателей, которые обеспечивают компенсацию указанных выше изменений скорости передачи и изменений фазы транспортируемой нагрузки. Ниже

рассматриваются виртуальные контейнеры с указателями.

Субблоки TU, в соответствии с входящими в их состав VC, обозначают TU-1, TU-2 и TU-3. Они, как и VC, делятся на два подуровня, а именно: TU-1 разбивается на TU-11 и TU-12; TU-2 – на TU-21 и TU-22; TU-3 – на TU-31 и TU-32.

Все субблоки обеспечивают согласование при мультиплексировании нескольких сигналов сетевого слоя трактов низшего порядка с сетевым слоем тракта высшего порядка. Каждый субблок представляет собой фрагмент ЦГС заданной структуры, которая формируется путем соединения сигналов VC и указателя субблока (TU-указателя), т. е. определяется следующим образом: $TU = VC + TU\text{-указатель}$. Указатель субблока показывает, на сколько нужно отступить началу цикла передачи сигналов нагрузки (VC-1 или VC-2) от начала цикла передачи сигналов VC высшего порядка (VC-3 или VC-4).

Групповой субблок TUG представляет собой один или несколько субблоков и является фрагментом ЦГС заданной структуры, который занимает определенные фиксированные позиции в нагрузке VC высшего порядка. Различают два варианта групповых субблоков: TUG-2 и TUG-3.

Групповой субблок TUG-2 формируется путем мультиплексирования нескольких идентичных субблоков TU-11 и TU-12 или одного субблока TU-2. Блок TUG-2, так же как TU-1 и TU-2, разбивается на два подуровня: TUG-21 и TUG-22.

Групповой субблок TUG-3 содержит однородный набор групповых субблоков TUG-2 или один субблок TU-3. Групповой субблок TUG-3 так же разбивается на два подуровня: TUG-31 и TUG-32.

Далее на основании изложенного рассматриваются варианты формирования структуры сигналов виртуальных контейнеров высшего порядка VC-3 и VC-4.

Виртуальный контейнер VC-3 представляет собой фрагмент ЦГС заданной структуры, полезная нагруз-

ка которого формируется либо из одного контейнера С-3 (прямой вариант схемы формирования), либо из нескольких групповых субблоков TUG-2, в частности: VC-31 формируется как $1 \times C-31$ или $4 \times TUG-22$, или $5 \times TUG-21$; VC-32 – как $1 \times C-32$ или $7 \times TUG\ 21$, или $5 \times TUG-22$.

Виртуальный контейнер VC-4 не разбивается на подуровни. Он представляет собой фрагмент ЦГС заданной структуры, полезная нагрузка которого формируется либо из С-4 (прямой вариант схемы формирования), либо из нескольких TUG-2, либо из нескольких TU 3, а именно: VC-4 формируется как $1 \times C-4$ или $4 \times TUG-31$, или $3 \times TUG-32$, или $21 \times TUG\ 21$, или $16 \times TUG-22$.

Виртуальные контейнеры высшего порядка VC-3 и VC-4 позволяют сформировать соответствующие административные блоки AU-3 и AU-4.

Административный блок AU предназначен для согласования сигналов сетевого слоя трактов высшего порядка с сетевым слоем мультиплексных секций. Каждый AU (AU-3 или AU-4) представляет собой фрагмент ЦГС заданной структуры, которая формируется путем объединения сигналов полезной нагрузки (VC-3 или VC-4) и AU-указателя (AU-pointer), т. е. определяется выражением: $AU = VC + AU\text{-указатель}$. Начало цикла передачи сигналов полезной нагрузки может перемещаться относительно начала цикла передачи мультиплексной секции, поэтому AU-указатель определяет (указывает) адрес начала цикла передачи сигналов полезной нагрузки, место которого фиксировано.

Административный блок AU-3 разбивается на два подуровня AU-31 и AU-32, полезная нагрузка которых формируется из VC-31 и VC-32 соответственно. Структуры блоков AU-31 и AU-32 имеют вид:

$AU-31 = VC-31 + AU-31\text{-указатель};$

$AU-32 = VC-32 + AU-32\text{-указатель}.$

Административный блок AU-4 не разбивается на подуровни. Его полезная нагрузка формируется либо из виртуального контейнера VC-4 (прямой вариант схемы

формирования), либо другими возможными вариантами, в частности, $4 \times VC-31$, или $3 \times VC-32$, или $21 \times TUG-21$, либо $16 \times TUG-22$.

Групповой административный блок AUG представляет собой один или несколько AU и является фрагментом ЦГС заданной структуры, который занимает определенные фиксированные позиции в нагрузке STM-1. Блок AUG формируется из AU-3 и AU-4 с различными коэффициентами мультиплексирования, в частности, как $1 \times AU-4$, или $4 \times AU-31$, или $3 \times AU-32$. Далее AUG отображается на полезную нагрузку сигнала STM-1.

Синхронный транспортный модуль STM-1 представляет собой полный цикл передачи ЦГС заданной структуры в системе передачи SDH первого уровня. Кроме полезной нагрузки STM-1 содержит служебные сигналы, которые также называют заголовками. Поскольку STM-1 используется в сетевом слое секций, то его заголовок называется секционным – SOH. Цикл передачи сигнала образуется побайтным объединением сигналов полезной нагрузки AUG и сигналов SOH: $STM-1 = AUG + SOH$. Заголовок SOH подразделяется на заголовок мультиплексной секции MSOH и заголовок регенерационной секции RSOH.

В результате использования описанных выше элементов и их вариантов, образуемых наличием подуровней, можно изобразить схему построения цикла передачи сигнала STM-1 (рис. 5.12), предложенную в первом варианте Рекомендации ITU-T G.109 (1988). Она представляет собой симметричную относительно контейнера C-4 схему формирования цикла передачи сигнала STM-1. На схеме обозначения «xN» показывают коэффициенты мультиплексирования. Например, обозначение «x4» на ветви от блока TUG-22 к виртуальному контейнеру VC-31 означает, что четыре групповых субблока TUG-22 объединяются в виртуальный контейнер VC-31.

Представленная схема (рис. 5.12) охватывает все возможные варианты формирования структуры цикла пере-

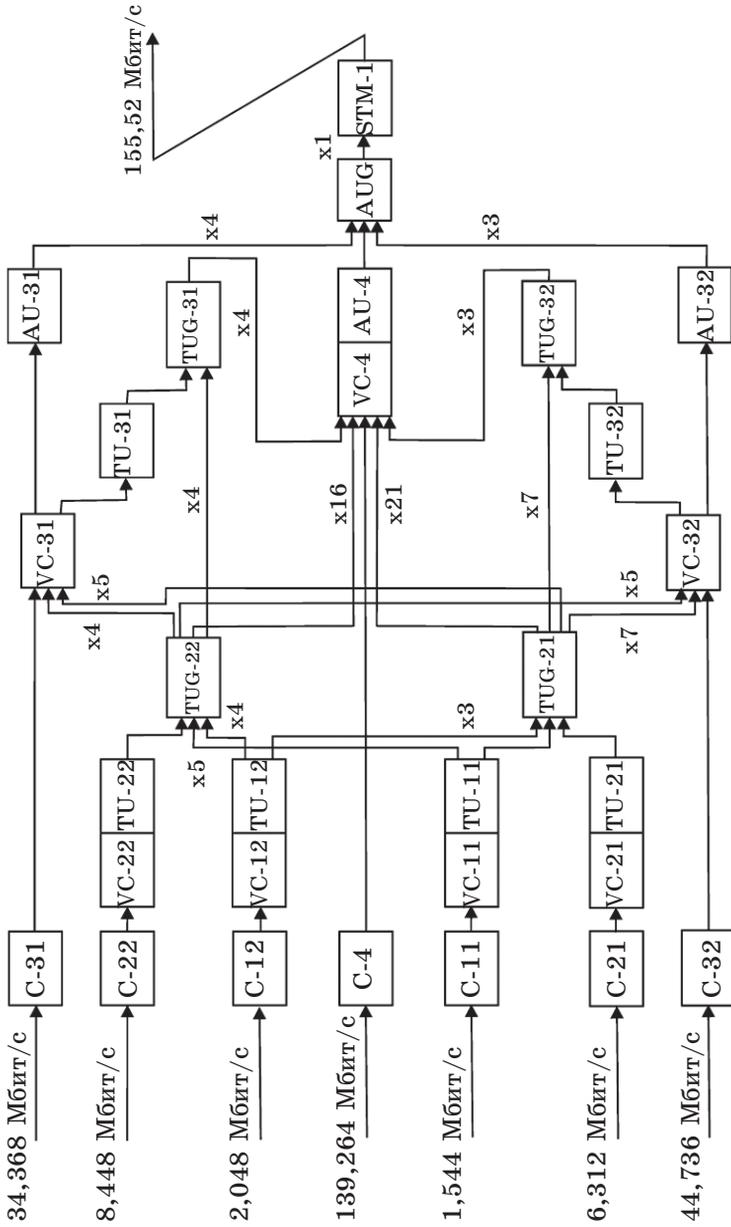


Рис. 5.12. Обобщенный алгоритм мультиплексирования STM-1

дачи сигнала STM-1 и допускает использование на входе всех семи стандартных цифровых потоков плезиохронных ЦСП. Но она достаточно сложна, поскольку имеет большое количество возможных вариантов формирования структуры цикла передачи сигнала STM-1. Например, если рассмотреть на этой схеме только возможные варианты формирования структуры цикла передачи сигнала STM-1 из цифровых потоков $E1=2,048$ Мбит/с, то их насчитывается двенадцать. Из этих вариантов наиболее сложными являются следующие четыре:

- 1) E1-C-12-VC-12-TU-12-TUG-21-VC-32-TU-32-TUG-32-VC-4-AU-4-AUG-STM-1;
- 2) E1-C-12-VC-12-TU-12-TUG-21-VC-31-TU-31-TUG-31-VC-4-AU-4-AUG-STM-1;
- 3) E1-C-12-VC-12-TU-12-TUG-22-VC-31-TU-31-TUG-31-VC-4-AU-4-AUG-STM-1;
- 4) E1-C-12-VC-12-TU-12-TUG-22-VC-32-TU-32-TUG-32-VC-4-AU-4-AUG-STM-1.

Сложность и многовариантность путей формирования структуры модуля STM-1 отрицательно сказывалось на унификации производимого оборудования синхронных ЦСП, использовалось многообразие оборудования существующих плезиохронных ЦСП. Уже в 1991 г. цифровой поток $E2=8,448$ Мбит/с был исключен ITU-T из списка обязательных. Цифровой поток $T2=6,312$ Мбит/с был исключен ETSI из списка обязательных в европейском варианте схемы формирования структуры модуля STM-1 и остался только в Рекомендации ITU-T G.709 (1993) для общей схемы формирования структуры сигнала STM-1 в системах передачи SDH. Кроме вторичных цифровых потоков $E2$ и $T2$ многовариантность формирования структуры модуля STM-1 создавали отображения TUG-22 на VC-31 и непосредственные отображения TUG-21 и TUG-22 на VC-4 с различными коэффициентами мультиплексирования. Поэтому в третьей редакции Рекомендации ITU-T G.709 (1993) схема формирования структуры цикла передачи сигнала STM-1 была упрощена. Она представлена на рисунке 5.13.

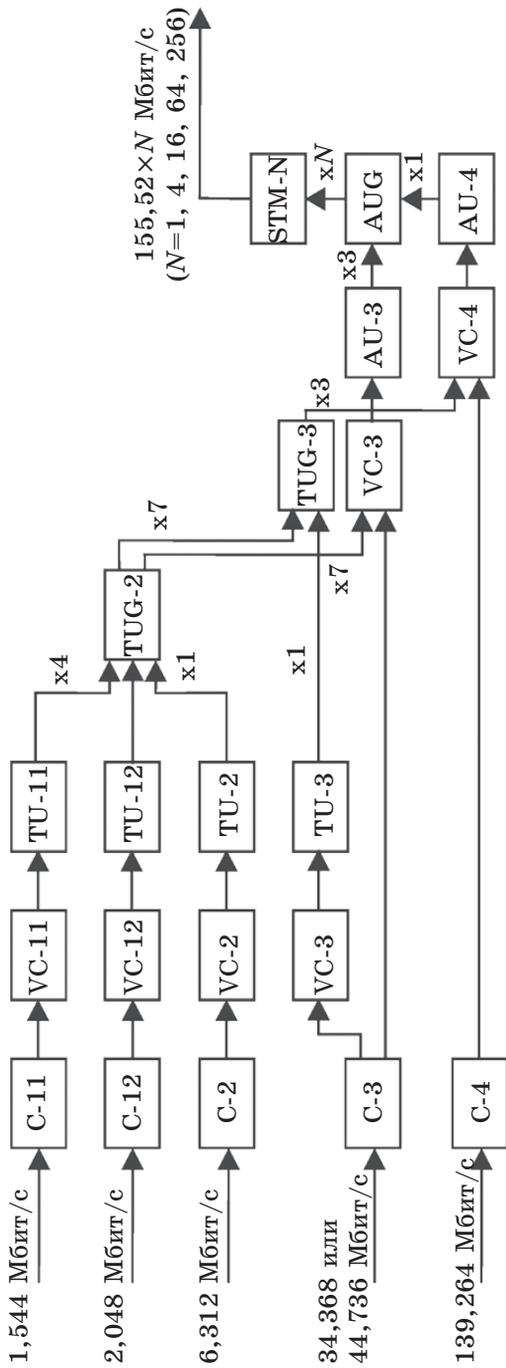


Рис. 5.13. Усовершенствованный алгоритм мультиплексирования STM-1

5.5. Состав базового мультиплексора и его структурная схема

Синхронные мультиплексоры производят различные компании. Производимое оборудование различается по некоторым характеристикам и возможностям его использования. Однако благодаря высокому уровню стандартизации технологии систем передачи SDH, базовые мультиплексоры SM по основным параметрам унифицированы. Мультиплексор в зависимости от конфигурации может работать в трех основных режимах:

1) Общепринятый ТМ, который предназначен для формирования в тракте передачи модуля STM-1 из 63 цифровых потоков E1 и обратного преобразования сигналов в тракте приема.

2) Мультиплексор выделения/вставки DIM, он обеспечивает ответвление части цифровых потоков E1 в промежуточных пунктах линейной магистрали или кольца, а также сквозное кросс-соединение в этом пункте остальных цифровых потоков.

3) Синхронный линейный мультиплексор SLM-1, который выполняет электронно-оптическое преобразование сигналов STM-1, а также служит для формирования оптического сигнала со скоростью передачи 155,52 Мбит/с и другими заданными параметрами в тракте передачи и оптоэлектронное преобразование этого сигнала в тракте приема.

Для обеспечения указанных режимов работы в состав мультиплексора входят следующие основные блоки:

1) Четыре канальных блока, которые в совокупности обеспечивают обработку сигналов до 63 цифровых потоков E1. Каждый блок может обрабатывать до 16 цифровых потоков.

2) Два блока ответвления обрабатывают сигналы одного или двух оптических или электрических портов STM-1. Каждый порт STM-1 имеет пропускную способ-

ность до 16 виртуальных контейнеров VC-12, что обеспечивает совокупную пропускную способность каждого порта $16 \times 2240 = 35,84$ Мбит/с.

3) Два линейных, или агрегатных, блока А и В, которые могут иметь электрические или оптические интерфейсы. Каждый линейный блок выполняет обработку секционного заголовка модуля STM-1. Кроме того, оптический линейный блок используется для электронно-оптического преобразования передаваемых в линейный тракт сигналов и оптоэлектронного преобразования принятых из линейного тракта сигналов. Электрический линейный блок используется для формирования электрического цифрового сигнала в тракте передачи, а также для регенерации принятого из цифрового линейного тракта и преобразования этого сигнала в цифровой групповой сигнал в тракте приема.

4) Два блока (устройства) управления нагрузкой с кросс-коннекторами, которые обеспечивают переназначения цифровых потоков на уровне VC-12 между канальными и линейными блоками, а также удобство выделения и вставки цифровых потоков на промежуточных пунктах. Один из блоков является основным, а второй – резервным. При их подключении в процессе работы мультиплексора активны оба блока, но выходы резервного – заблокированы. Каждый блок управления нагрузкой имеет отдельный последовательный интерфейс с каждым канальным и линейным блоками. Интерфейс состоит из трех соединений в каждом направлении, по которым отдельно передаются информационные сигналы, или сигналы нагрузки, сигналы цикловой синхронизации (ЦС) и сигналы сверхцикловой синхронизации (СЦС).

5) Блок контроллера, который осуществляет функции общего контроля состояния мультиплексора и управления его блоками, обрабатывающими трафик. Кроме того, каждый из указанных выше блоков (в том числе и блок контроллера) содержит свой контроллер, построенный на микроконтроллере, кото-

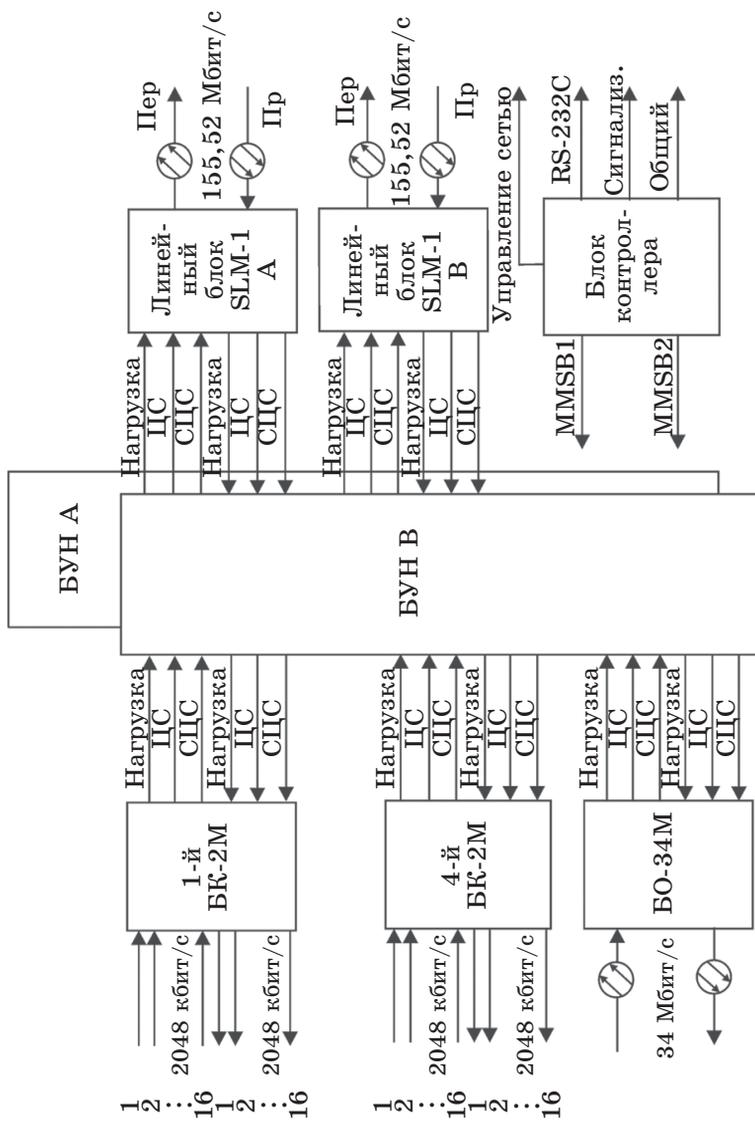


Рис. 5.14. Структура мультиплексора

рый осуществляет контроль и управление блоками под общим управлением контроллера мультиплексора.

Структурная схема базового мультиплексора с прохождением трафика между указанными выше блоками изображена на рисунке 5.14. При этом мультиплексирование потоков E1 для получения цикла передачи STM-1 выполняется по алгоритму. Рассмотрим краткохождение трафика по представленной схеме.

5.6. Модели транспортных сетей на базе цифровых систем передачи

Принципы построения транспортных сетей определены сектором телекоммуникаций ИТУ-Т в серии рекомендаций:

G.803 – транспортная сеть SDH;

G.805 – общая функциональная архитектура транспортных сетей;

I.326 – функциональная архитектура транспортной сети на основе АТМ;

G.872 – оптическая транспортная сеть ОТН.

В этих рекомендациях предложено рассматривать транспортные сети в виде многоуровневых моделей (рис. 5.15). Каждый уровень обычно представлен отдельной службой электросвязи, предоставляющей услуги другой службе, расположенной выше.

В структурах моделей определены функциональные уровни: физический, трактов и каналов.

Физический уровень. Данный уровень образован средой передачи сигналов (волоконно-оптической линией, медной линией, радиолинией) и секциями – участками, где происходит регенерация (ретрансляция) сигналов и мультиплексирование (объединение и разделение) различных сигналов. Благодаря наличию секции регенерации (ретрансляции) удается «очистить» сигнал от искажений и помех. Организация секций мультиплек-

SDH		ATM		Оптическая сеть		
Уровни каналов	Цифровые каналы E1, E3, E4	Уровни ATM	Виртуальные каналы	Уровни трактов	Другие электрические тракты	Тракты SDH
	Тракты виртуальных контейнеров VC-12		Виртуальные тракты		Оптические транспортные системы	
Уровни трактов	Тракты виртуальных контейнеров VC-3, VC-4	Физический уровень	Цифровая секция (тракт)	Уровни оптической сети	Секции мультиплексирования	
	Секции мультиплексирования и регенерации		Физическая среда		Оптическая ретрансляция	
Физический уровень	Физическая среда				Оптоволоконная линия	

Рис. 5.15. Модели транспортных сетей

сирования позволяет эффективно использовать физическую среду за счет временного разделения передачи каналов. При этом можно реализовать резервирование любой секции мультиплексирования, если предусмотреть дополнительную физическую цепь, оборудование для передачи сигналов по ней и оборудование автоматического переключения.

Физический уровень оптической транспортной сети имеет свою особенность, которая состоит в том, что все преобразования сигналов (усиление, ретрансляция, объединение и разделение, вывод и ввод) производятся исключительно оптическими средствами. Таким способом достигаются наивысшие скорости передачи информационных данных – от десятков гигабит до десятков терабит в секунду (Тбит/с). В физической среде, представляемой одномодовым стекловолокном, объединяются (мультиплексируются) множество оптических несущих частот (от 2-х до 132 и более), каждая из которых модулирована информационным сигналом.

Уровень трактов. Тракты каждой транспортной сети создаются, чтобы обеспечить сквозное прохождение информационных сигналов. Их можно сравнить с маршрутами движения поездов на железной дороге (железнодорожные пути – это физическая среда, а крупные узловые станции подобно мультиплексорам объединяют и разделяют транспортные потоки). По маршрутам железных дорог могут следовать различные поезда и перевозить различные грузы. Аналогично в транспортной телекоммуникационной сети через физические цепи могут передаваться строго циклически цифровые потоки в виде двоичных импульсных последовательностей, сформированных из различных сигналов. Каждому сигналу отведены в циклах временные позиции. Эти позиции могут быть закреплены за соединениями – маршрутами в сети. В сети SDH маршруты прописываются в заголовках циклически передаваемых данных под названием виртуальные

контейнеры (VC-12, VC-3, VC-4). При этом виртуальные контейнеры VC-12 могут быть объединены в блоки данных и помещены в виртуальные контейнеры VC-3, VC-4, имеющие большую емкость, но отправляемые также циклически, как VC-12. Это совмещение данных VC-12 и VC-3, VC-4 можно сравнить с размещением железнодорожных контейнеров на специальных платформах, которые перемещаются по железной дороге от станции формирования состава до станции его расформирования.

Тракты в сети АТМ отличаются от трактов сети SDH тем, что они образуются только при наличии информационного сообщения, а в его отсутствии физические ресурсы транспортной сети отдаются для передачи других сигналов. Сравните, на место ожидавшего пассажира в пассажирском вагоне поезда может быть посажен на любой станции пассажир, следующий своим маршрутом. По этой причине путь следования данных в сети АТМ называют виртуальным. Он прописывается в специальных таблицах коммутатором АТМ и ячейках, переносящих информационные сообщения. По данным таблиц считываются заголовки ячеек АТМ для каждого участка сети, и происходит маршрутизация групповых информационных потоков. Маршруты в оптической транспортной сети определяются номиналами несущих частот оптического диапазона. При этом частота может быть одной и той же или изменяться на разных участках сети, однако маршрут следования информационных данных сохраняется.

Уровень каналов. Для любой из рассмотренных моделей транспортных сетей этот уровень выполняет функции интерфейса с вторичными сетями (коммутаторами телефонных, широкополосных, компьютерных сетей и т.д.). Как правило, на уровне каналов создаются типовые электрические и оптические интерфейсы. Примеры этих каналов: E1 для скорости передачи 2,048 Мбит/с; E2 для скорости передачи 8,448 Мбит/с;

Е3 для скорости передачи 34,368 Мбит/с; Е4 для скорости передачи 139,264 Мбит/с; STM-1 для скорости передачи 155,520 Мбит/с. Транспортные сети, построенные в соответствии с различными моделями, совместимы между собой на уровнях каналов или трактов.

Транспортная сеть должна быть надежной и живучей. Термин «надежность» означает, что сеть должна безотказно работать на протяжении определенного промежутка времени. Термин «живучесть сети» говорит о том, что абонент сети не получает отказа в услугах связи, даже если сеть повреждена на отдельных участках.

К числу основных архитектур (конфигураций) транспортных сетей относятся: линейная сеть, а также двух- и четырехволоконные кольца.

Линейные сети обычно содержат два приемопередающих оконечных устройства, например мультиплексоры SDH, мультиплексоры ввода/вывода ADM и регенераторы. Пример конфигурации линейной сети приведен на рисунке 5.16.

В приведенном примере реализован принцип защиты линейной сети в режиме 1+1, т.е. для одной рабочей секции мультиплексирования создается одна резервная, что обозначает полное гарантированное резервирование всего трафика между терминалами.

Кольцевые сети получили широкое распространение у местных региональных операторов благодаря их особым свойствам «живучести» и относительно невысокой стоимости. Повреждения линий и отказы аппаратуры в таких сетях могут быть заблокированы и обойдены без существенных потерь для информационных сигналов, благодаря заложенной в самой кольцевой конфигурации сети способности к «самовосстановлению» (SelfHealingRing – SHR). Способы «самовосстановления» кольцевых структур достаточно разнообразны и зависят от конфигурации кольца (рис. 5.17–5.21).

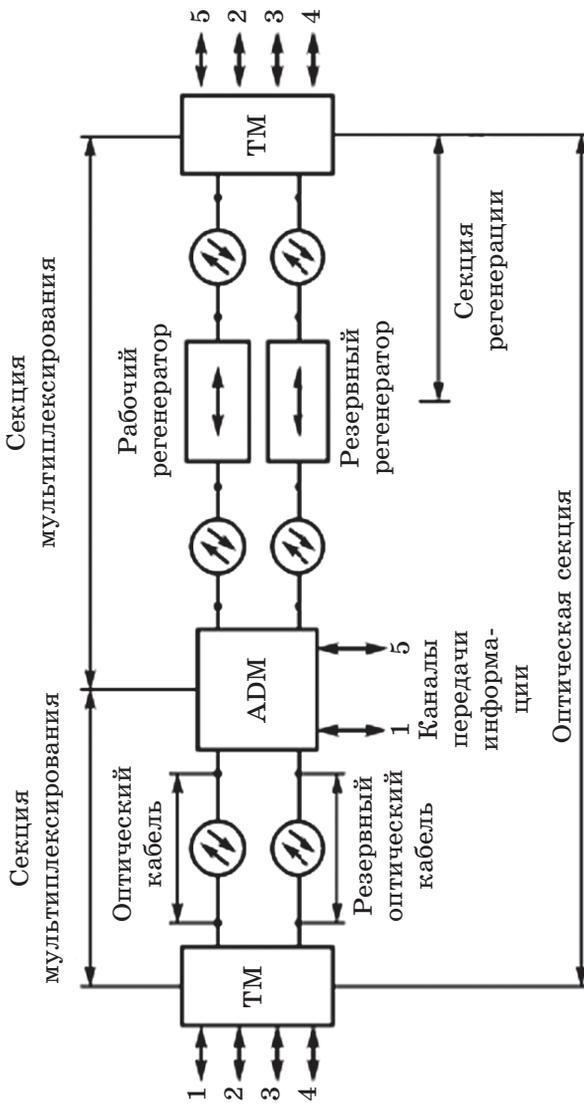


Рис. 5.16. Линейная архитектура транспортной сети

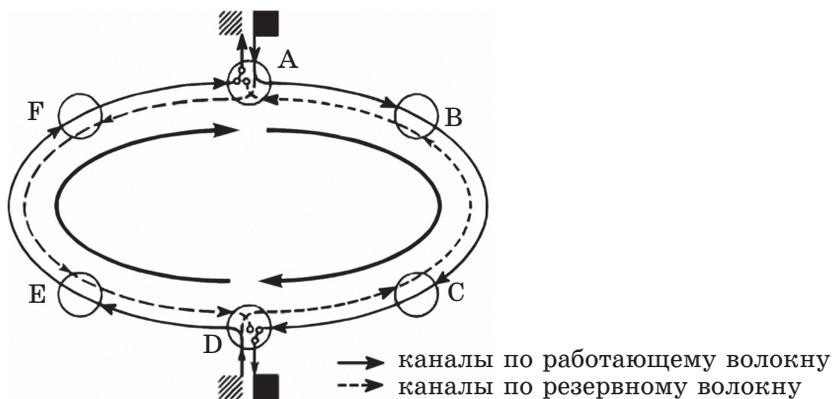


Рис. 5.17. Двухволоконное однонаправленное самовосстановление кольца с переключением трактов – номинальный режим работы

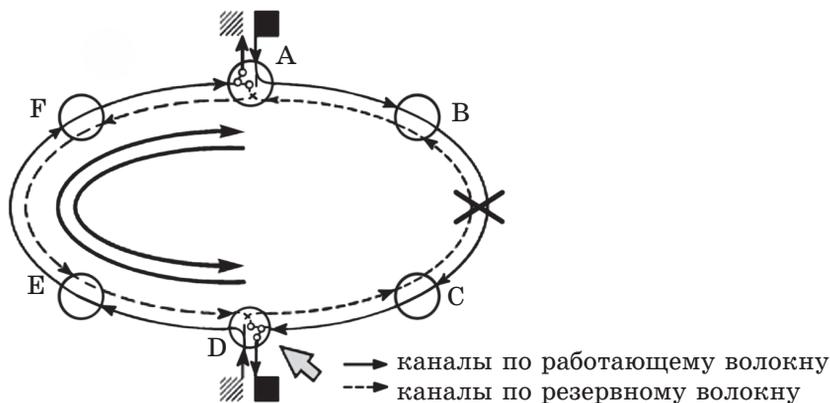


Рис. 5.18. Двухволоконное однонаправленное самовосстановление кольца с переключением трактов – аварийный режим работы

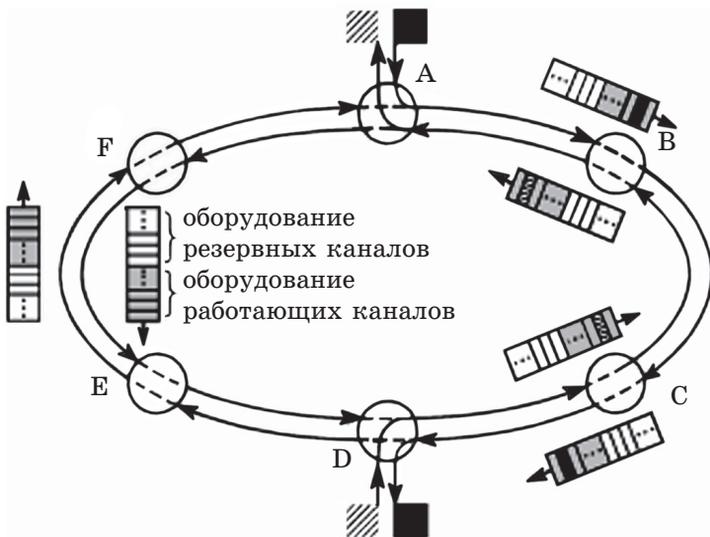


Рис. 5.19. Двухволоконное двунаправленное самовосстановление кольца с переключением линии – номинальный режим работы

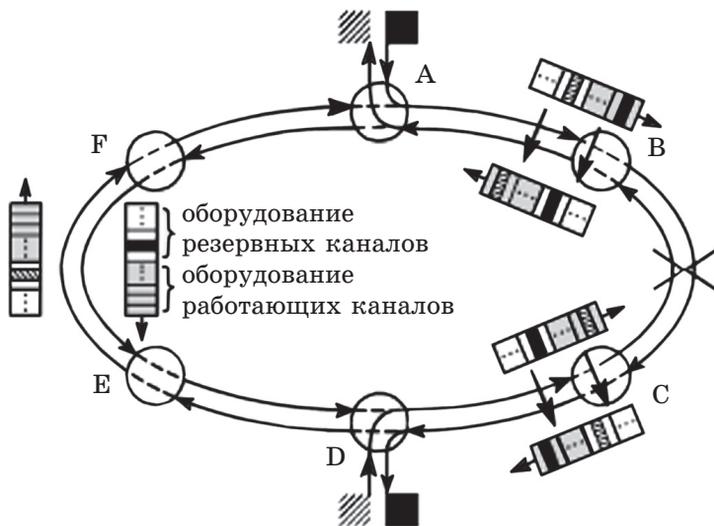
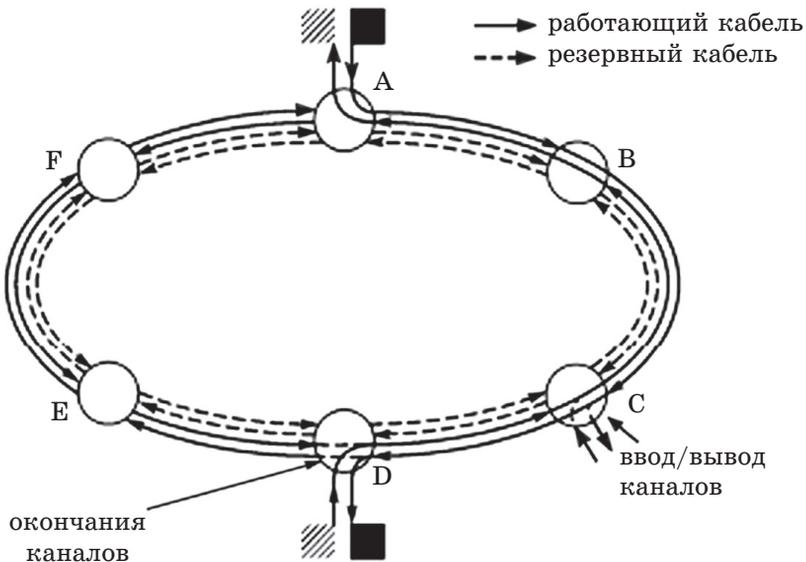
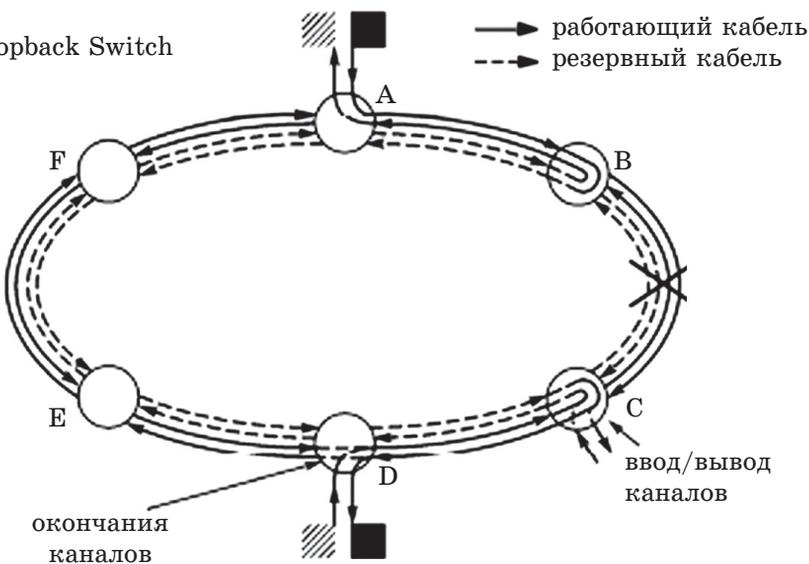


Рис. 5.20. Двухволоконное двунаправленное самовосстановление кольца с переключением линии – аварийный режим работы

1)



2)
Loopback Switch



3)
Span Switch

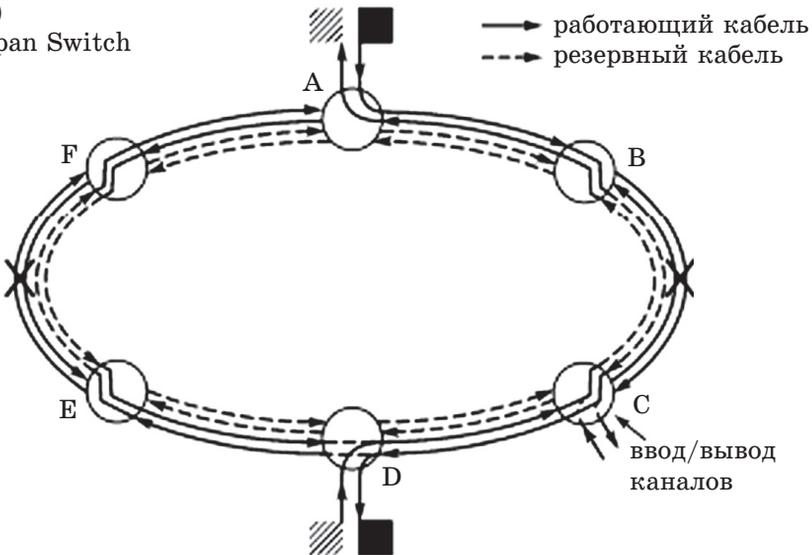


Рис. 5.21. Четырехволоконное двунаправленное самовосстановление кольца с переключением линии: 1) номинальный режим работы; 2) аварийный (переключение «петля»); 3) аварийный (переключение «мостик»)

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какова иерархия ЦСП?
2. Расскажите о способах объединения цифровых потоков.
3. В чем заключаются недостатки систем PDH?
4. Расскажите об объединение цифровых потоков в SDH.
5. Каков состав базового мультиплексора SDH?
6. Какие модели транспортной сети вы знаете?

6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

6.1. Обзор технологий абонентской сети доступа

Одной из самых проблемных и динамично развивающейся частей современных сетей связи является доступ пользователей и абонентов к узлам связи транспортных сетей для предоставления телекоммуникационных услуг.

При этом наблюдаются следующие тенденции развития доступа:

- использование существующей инфраструктуры низкочастотных медных линий для предоставления доступа к узкополосным и широкополосным услугам средствами модемов цифровых абонентских линий xDSL (Digital Subscriber Line) в разновидностях симметричных, асимметричных и высокоскоростных линий (HDSL, ADSL, VDSL), в которых могут передаваться сигналы на скоростях от десятков кбит/с до десятков Мбит/с (64 кбит/с – 50 Мбит/с) на относительно небольших расстояниях от десятков и сотен метров до нескольких километров;

- использование технологий: «волокно в дом», «волокно в распределительный шкаф», «волокно в офис» и т.д., обозначаемых FTTx (Fiber To The Home, ...), например, пассивной оптической сети PON (Passive Optical Network), основанных на сети волоконнооптических линий, для организации доступа к любым видам услуг;

- использование технологий радиодоступа RLL (Radio Local Loop) для фиксированного и мобильного, узкополосного и широкополосного доступа с разделе-

нием радиочастотных ресурсов по спектру частот, по времени, кодовым разделением, пакетной передачей;

– пример последнего – технология WiMAX.

Плоскость пользовательских услуг отражает все известные и востребованные услуги электросвязи, к которым относятся:

– телефония с коммутацией каналов и IP-телефония;

– видеосвязь, видеоконференции;

– Интернет, электронная почта;

– звуковое вещание;

– цифровое телевидение.

Для реализации услуг необходимы различные терминалы для пользователей. Это и обычные телефонные аппараты, теле- и радиоприемники, терминалы сетевых подключений цифровых сетей с интеграцией услуг (ЦСИУ) или служб (ЦСИС) – ISDN (Integrated Services Digital Network), персональные компьютеры и т. д.

В связи с качественными изменениями, происходящими в развитии современных телекоммуникационных сетей (ТКС), и в частности с созданием мультисервисных сетей, осуществляется внедрение современных технологий и на абонентских сетях доступа. Новые концептуальные подходы к их построению приводят к тому, что понятие «абонентская линия» уже не отражает самой сути элемента сети электросвязи между терминалом пользователя и коммутационной станцией. Поэтому появился новый, принятый уже в международных стандартах и рекомендациях термин «Access Network» – «сеть доступа». Чаще используется словосочетание «сеть абонентского доступа» (САД), что дает более четкое представление о соответствующем фрагменте телекоммуникационной системы.

На рисунке 6.1 показан фрагмент телекоммуникационной сети с выделенными типовыми элементами САД.

Абонентская сеть в простейшем случае состоит из трех основных элементов:

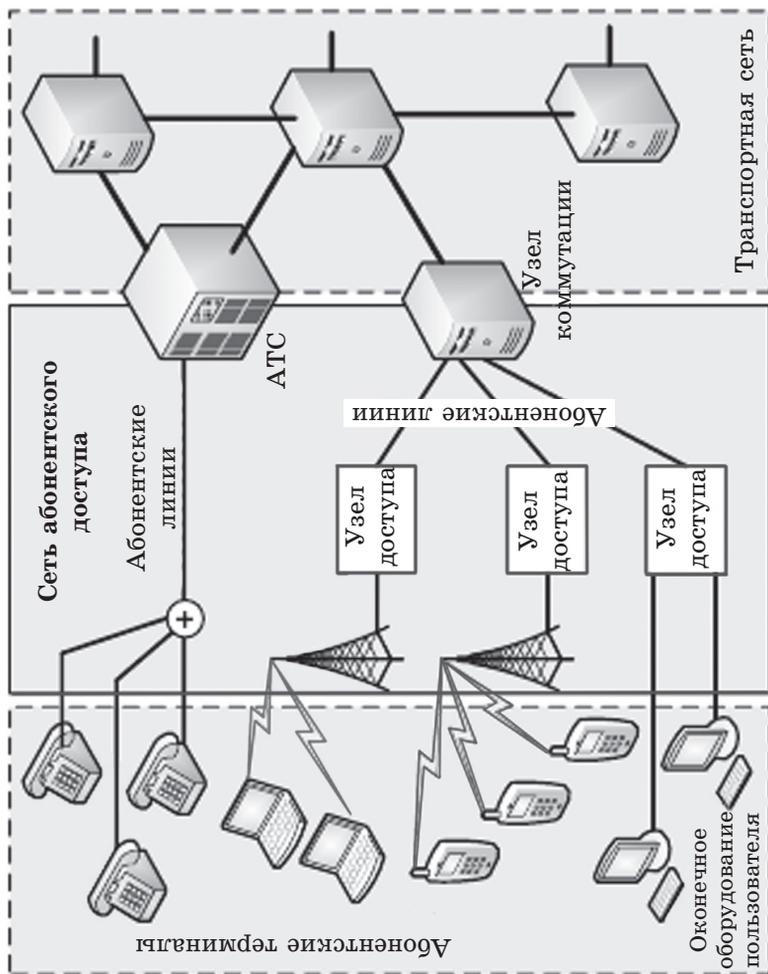


Рис. 6.1. Типовая структура и состав сетей абонентского доступа

– абонентского (пользовательского) терминала (АТ);

– абонентской (пользовательской) линии (АЛ);

– узла коммутации (УК).

В общем случае под сетями пользовательского (абонентского) доступа понимается совокупность линий, оконечных и промежуточных узлов, включаемых в коммутационное оборудование транспортной сети непосредственно или через выносной модуль (концентратор, мультиплексор).

Структурно САД располагается между оборудованием, помещающимся непосредственно в месте расположения абонентов (пользователей), и транспортной сетью. Границей между САД и терминальным оборудованием может быть распределительная коробка или розетка, к которой подключается АТ. Граница между САД и транспортной сетью проходит в месте установки УК, в абонентские комплекты которого входят подключаемые АЛ.

На рисунке 6.2 представлена модель САД, основанная на новых подходах к ее построению. В соответствии с этой моделью, САД состоит из двух узловых элементов. Первый представляет собой совокупность подсетей АЛ, образующих сеть АЛ, а второй – непосредственно подсеть доступа (именуемую еще базовой сетью, распределительной сетью или сетью переноса).

Каждая подсеть АЛ обеспечивает подключение абонентов (пользователей) к узлу доступа (УД) или УК непосредственно или через мультиплексор.

Проблему абонентского доступа к услугам телекоммуникационной сети на участке «абонентский терминал – узел доступа» с тем же качеством, что и непосредственно в телекоммуникационной сети, принято называть проблемой «последней мили».

Сети абонентского доступа с малой пропускной способностью (низкой скоростью передачи информации и соответственно с узкой полосой пропускания – «узким горлышком бутылки») в настоящее время перестали

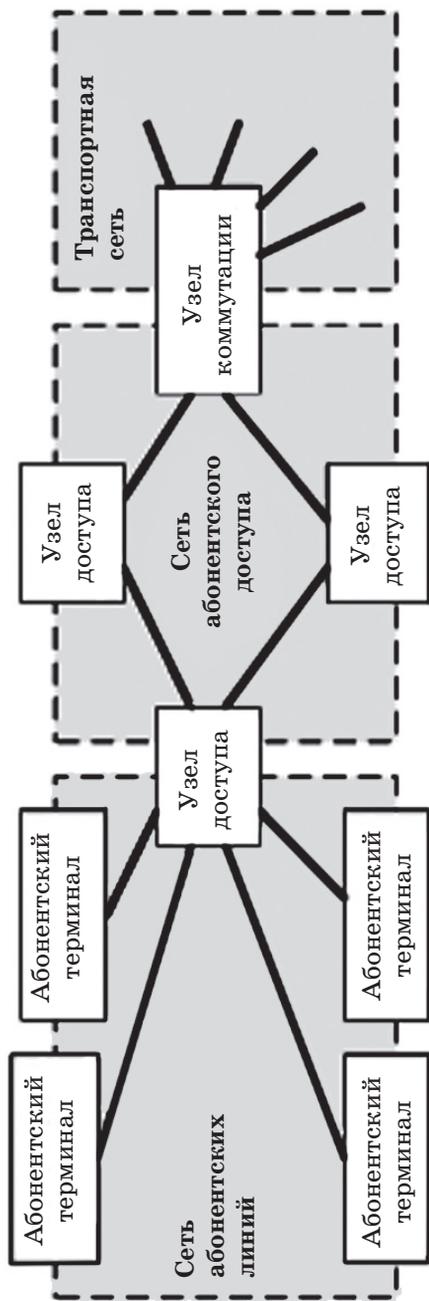


Рис. 6.2. Модель сети абонентского доступа

обеспечивать растущие потребности пользователей. Поэтому во многих странах мира построение высокоскоростных, т. е. широкополосных, сетей доступа стало приоритетным направлением их развития.

Различные концептуальные решения по этому направлению разрабатывались в международных организациях. Так, например, в отчете ИТУ-Т за 2001 год широкополосный доступ (ШПД) определяется как возможность передачи с достаточной полосой пропускания, позволяющей предоставлять услуги голосовой связи, передачи данных и видео в одном потоке.

Более точные требования к полосе пропускания определяются используемыми абонентом приложениями, такими как электронная почта, просмотр Web-страниц, загрузка аудио- и видеоклипов, игры on-line (infotainment – информация и развлечения), видеоконференции, интерактивное телевидение, доступ к дискуссионным группам и базам данных и т. п.

Исследователями и разработчиками международных организаций и промышленных компаний в последние годы формировались различные концептуальные положения по решению проблемы «последней мили». Эти положения базируются на ряде технологий, физической основой для которых способны стать как проводные, так и радиосреды передачи.

Специальные технологии абонентского доступа прежде всего нацелены на образование цифровых каналов на основе доступной физической среды, разновидности которой можно разделить на две группы:

1) Физические среды проводного доступа:

- оптическое волокно;
- коаксиальный медный кабель;
- витая пара (тоже медный кабель).

2) Физические среды беспроводного доступа:

- оптические электромагнитные волны;
- радиоволны (тоже электромагнитные);
- звуковые (акустические) волны (неэлектромагнитные).

Перспективные концепции построения САД ориентируются, в основном, на физические среды, позволяющие передавать высокоскоростные потоки информации, то есть, прежде всего – на оптоволокно.

Главной движущей силой развития технологий абонентского доступа становятся новые информационные потребности абонентов (пользователей) в услугах электросвязи. При этом с одной стороны (со стороны сети) появились службы, готовые удовлетворить данные потребности (в основном, в виде соединений с заданным качеством отдельных абонентов и в виде предоставления доступа к общим информационным ресурсам), а с другой стороны (со стороны абонентов) остались преимущественно старые физические линии доступа, не способные реализовать новые потребности.

Выделяют три направления удовлетворения новых информационных потребностей пользователей за счет развития технологий абонентского доступа:

1) увеличение скорости передачи и предоставление новых услуг тем абонентам, которые уже имели доступ к сети, и в тех точках доступа, которые уже существовали ранее;

2) подключение новых абонентов в тех местах, где прежде не было точек подключения, с предоставлением полного набора современных услуг;

3) подключение подвижных абонентов и предоставление им сервисов, соизмеримых по качеству с услугами, которые предоставляются фиксированным абонентам.

Если первые два направления не исключают «персональную мобильность абонентов», перемещающихся между фиксированными точками доступа (подключения), то третье направление призвано обеспечить «мобильность терминалов». В целом же от сети абонентского доступа требуется гарантировать персональный доступ к любым информационным и телекоммуникационным услугам любым абонентам – независимо от их местонахождения, то есть обеспечить персональную глобальную связь по принципу «всегда и везде».

В настоящее время наметились четыре наиболее характерных пути решения проблемы «последней мили».

1) Строительство ВОЛС на абонентском участке. Строительство волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) на участке «последней мили» имеет ряд очевидных достоинств и соответствует перспективным концепциям.

Стоимость оптического кабеля (ОК) неуклонно снижается, причем оптические АЛ служат достаточно долго и не требуют особого внимания. Однако для прокладки кабеля необходимы трудовые и временные затраты специально подготовленных работников, а также недешевое оконечное оборудование приема/передачи и мультиплексирования, что увеличивает стоимость АЛ.

2) Прокладка медно-кабельных абонентских линий. Это традиционное решение имеет ряд положительных моментов: простое проектирование, наличие опытного персонала по строительству и эксплуатации, приемлемая стоимость. Основные недостатки: дорогое обслуживание и ограниченная – по сравнению с ВОЛС – пропускная способность при тех же трудовых и временных затратах на строительные работы. В последнее время отмечается еще один «специфический» недостаток – привлекательность медных кабелей для сборщиков металлолома.

3) Уплотнение существующих (медно-кабельных) абонентских линий. Идея уплотнения АЛ родилась давно. Аналоговое оборудование высокочастотного уплотнения широко используется в телекоммуникационных сетях до сих пор. Однако своим подлинным развитием данное решение обязано появлению цифровых абонентских линий ЦАЛ (DSL – Digital Subscriber Loop или Line). Технологии xDSL (где x является обобщенным символом различных аббревиатур, соответствующих различным вариантам DSL) позволили организовать высокоскоростную цифровую передачу по существующим АЛ.

Технологии DSL открыли новые возможности для предоставления коммуникационных услуг, так как по-

лоса пропускания абонентского шлейфа теперь не ограничивается 4 кГц, как это было в традиционной аналоговой телефонии. Расширить полосу пропускания оказалось реальным с помощью специальных линейных кодов и техники цифровых сигнальных процессоров.

Технологии DSL используют различные схемы линейного кодирования: – CAP, 2B1Q, PAM и др. Линейное кодирование – это алгоритм преобразования сигнала, предназначенный для надежной помехоустойчивости передачи данных по медному проводу. Например, новая технология линейного кодирования Trellis Coded – PAM (TC-PAM), лежащая в основе нового перспективного стандарта SHDSL, уменьшает мощность сигнала, увеличивает дальность передачи и позволяет кодировать больше данных внутри частотного спектра.

Допустимая длина ЦАЛ, как правило, составляет не более 5–6 км (в случае диаметра жилы кабеля 0,4–0,5 мм). Используя регенераторы, несложно увеличить допустимую длину ЦАЛ. «Допустимой» обычно считается длина, при которой вероятность ошибки на бит не превышает 10⁻⁷. Существуют и более строгие международные нормативы, разработанные для цифровых первичных сетей, которые часто применяют для оценки пригодности ЦАЛ.

Дополнительным резервом построения САД на базе существующих проводных «абонентских линий» служат:

- проводная разводка радиоточек;
- линии электропередач (например, известны технологии X.10 и DPL – Digital Power line, которая позволяет передавать данные по электропроводке со скоростью до 1 Мбит/с и др.);
- сети кабельного телевидения (во многих городах уже применяются для доступа в Интернет).

В соответствии с работой технологии проводного абонентского доступа можно разбить на пять основных групп по критерию среды передачи и категориям пользователей (рис. 6.3):

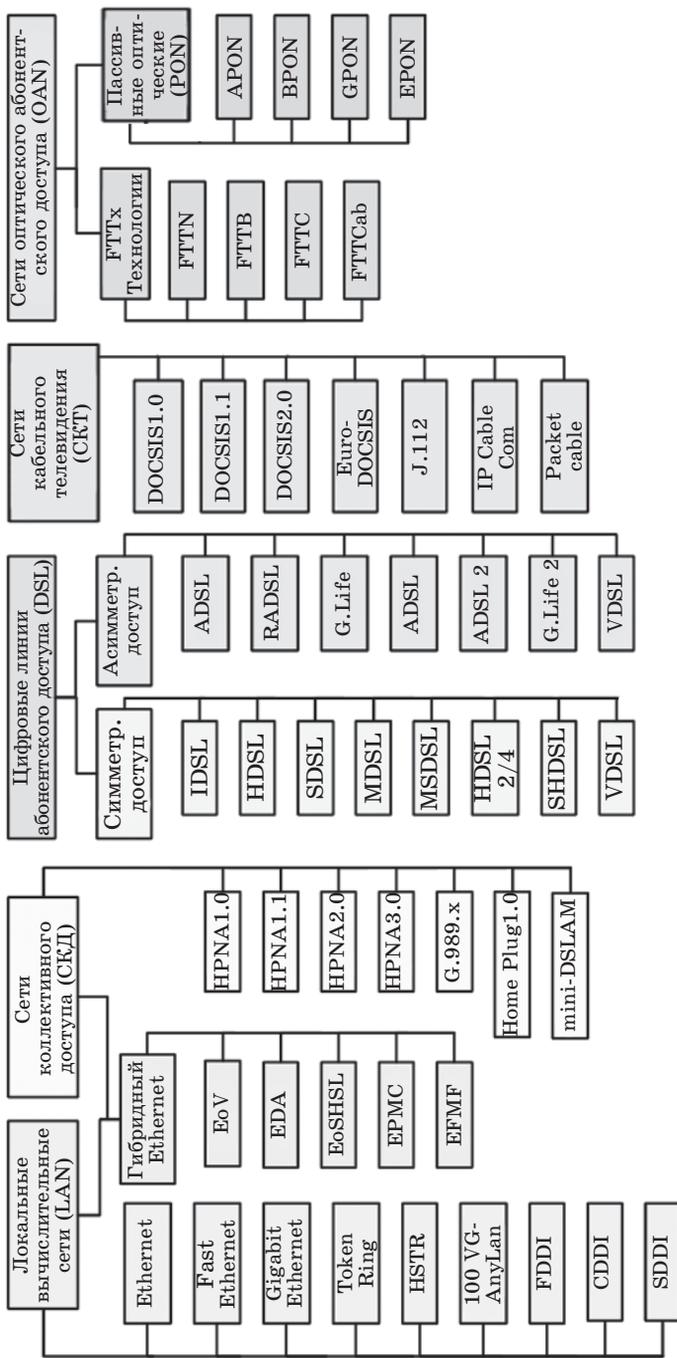


Рис. 6.3. Классификация технологий проводного доступа

1) LAN (Local Area Network) – технологии предоставления корпоративным пользователям услуг доступа к ресурсам локальных вычислительных сетей и использующих в качестве среды передачи структурированные кабельные системы категорий 3, 4 и 5, коаксиальный кабель и оптоволоконный кабель.

2) DSL (Digital Subscriber Line) – технологии предоставления пользователям Телефонной сети общего пользования (ТфОП) услуг мультимедиа и использующих в качестве среды передачи существующую инфраструктуру ТфОП.

3) Кабельное телевидение (КТВ) – технологии предоставления пользователям сетей КТВ мультимедийных услуг (за счет организации обратного канала) и использующих в качестве среды передачи оптоволоконный и коаксиальный кабели.

4) Optical Access Networks (OAN) – технологии предоставления пользователям широкополосных услуг, линии доступа к мультимедийным услугам и использующих в качестве среды передачи оптоволоконный кабель.

5) Сети коллективного доступа (СКД) – гибридные технологии для организации сетей доступа в многоквартирных домах; в качестве среды передачи используется существующая в домах инфраструктура ТфОП, радиотрансляционных сетей и сетей электропитания.

Технология локальных сетей

В группе LAN более 90% всех сетей построены с использованием технологии Ethernet, она обеспечивает пользователям корпоративных сетей скорости передачи информации от 10 Мбит/с до 1 Гбит/с. Широкое распространение сетей Ethernet при организации LAN, в первую очередь, связано с низкой стоимостью, легкостью управления и простотой используемого оборудования. Разрабатывавшаяся в конце 70-х гг. прошлого столетия исключительно для передачи данных технология Ethernet обеспечивает сейчас поддержку

широкого набора услуг, включая передачу речи и видео с требуемым качеством обслуживания QoS (IEEE 802.1p), а также организацию VLAN (IEEE 802.1Q).

Для построения LAN также был разработан и ряд других технологий, которые однако не получили такого распространения как Ethernet:

- маркерная бесколлизийная кольцевая технология Token Ring (IEEE 802.5) со скоростью передачи до 16 Мбит/с и ее высокоскоростная версия HSTR–High-Speed Token Ring (100 Мбит/с и 1 Гбит/с);

- технология 100VG-AnyLAN (IEEE 802.12) была разработана для совместного использования в одной сети Ethernet и Token Ring;

- технология FDDI (Fiber Distributed Data Interface), которая в силу высокой стоимости не применяется при построении LAN, однако, обладая высокой отказоустойчивостью и скоростью передачи (100 Мбит/с), используется для построения городских кольцевых магистралей с диаметром кольца до 100 км.

В технологиях доступа в последнее время наметилась интеграция технологии Ethernet с различными технологиями DSL (гибридный Ethernet). Наиболее известным вариантом такой интеграции является технология EoV. При скорости передачи порядка 10 Мбит/с сеть Ethernet может располагаться на расстоянии до 1,5 км от узла доступа, а при скоростях 3–4 Мбит/с это расстояние возрастает до 3–4 км. Стандарт на EoV разрабатывается в двух вариантах:

- EFMC (EFM Copper), имеющий характеристики обслуживания, аналогичные EoV;

- EFMF (EFM Fiber), обеспечивающий скорость передачи от 100 Мбит/с до 1 Гбит/с на расстояние в несколько десятков километров до узла доступа.

Известны также следующие решения:

- Ethernet с использованием ADSL компании (EDA – Ethernet DSL Access) со скоростями передачи 8/2,8 Мбит/с и дальностью до 4 км;

- Ethernet с использованием SHDSL со скоростью передачи 2,3 Мбит/с и дальностью до 5 км.

Необходимо отметить, что в настоящее время в данной группе все большее распространение получают беспроводные сети доступа к глобальной сети, организованные по стандартам WiFi, WiMAX, а также доступ через сети мобильных операторов сотовой связи по стандартам 3.5 G и 4G.

Технологии сетей коллективного доступа

Для организации относительно недорогого доступа в Интернет жителей многоквартирных домов разработаны технологии сетей коллективного доступа (СКД):

- Home PNA (HPNA);
- Power Line Communication (PLC).

Сеть доступа развертывается на существующей в доме кабельной инфраструктуре (витая медная пара, проводка радиотрансляционных сетей, электрическая проводка), а концентратор трафика может подключаться к узлу служб с использованием различных систем передачи (кабельных, радио и др.).

Для домашних сетей подходит оборудование гибридных Ethernet или mini-DSLAM при использовании в качестве концентратора трафика мультиплексоров DSL.

Стандарты HPNA появились в результате деятельности альянса Home Phoneline Networking Alliance, созданного в 1996 году для разработки технологии, которая на основе существующей в домах кабельной сети должна была обеспечить относительно недорогой доступ в Интернет. Технология HPNA стандартизована в ITU-T (рекомендации G.989.1 и G.989.2). Стандарт HPNA 1.0 создан в 1998 году. Для передачи сигналов используется полоса частот 4,10 МГц, поэтому системы HPNA не оказывают влияния на телефонные и другие системы, работающие по тому же кабелю.

Системы доступа HPNA 1.0 обеспечивают коллективный доступ к каналу с пропускной способностью 1 Мбит/с на расстояние до 150 м. В качестве метода доступа к среде передачи применяется CSMA/CD. Для передачи информации используется модуляция DMT.

Типовая топология сети – «звезда». Ядро сети – коммутатор HPNA, порты которого подключаются к соответствующей абонентской линии. Максимальное количество абонентов в сети – 32.

В стандарте HPNA 1.1 дальность действия оборудования увеличена до 300 м.

В сетях стандарта HPNA 2.0, появившегося в 2000 г., пропускная способность коллективного канала увеличена до 10 Мбит/с при дальности действия системы до 350 м. Типовая топология сети – «шина». Работа такой сети не требует применения коммутаторов и других активных устройств.

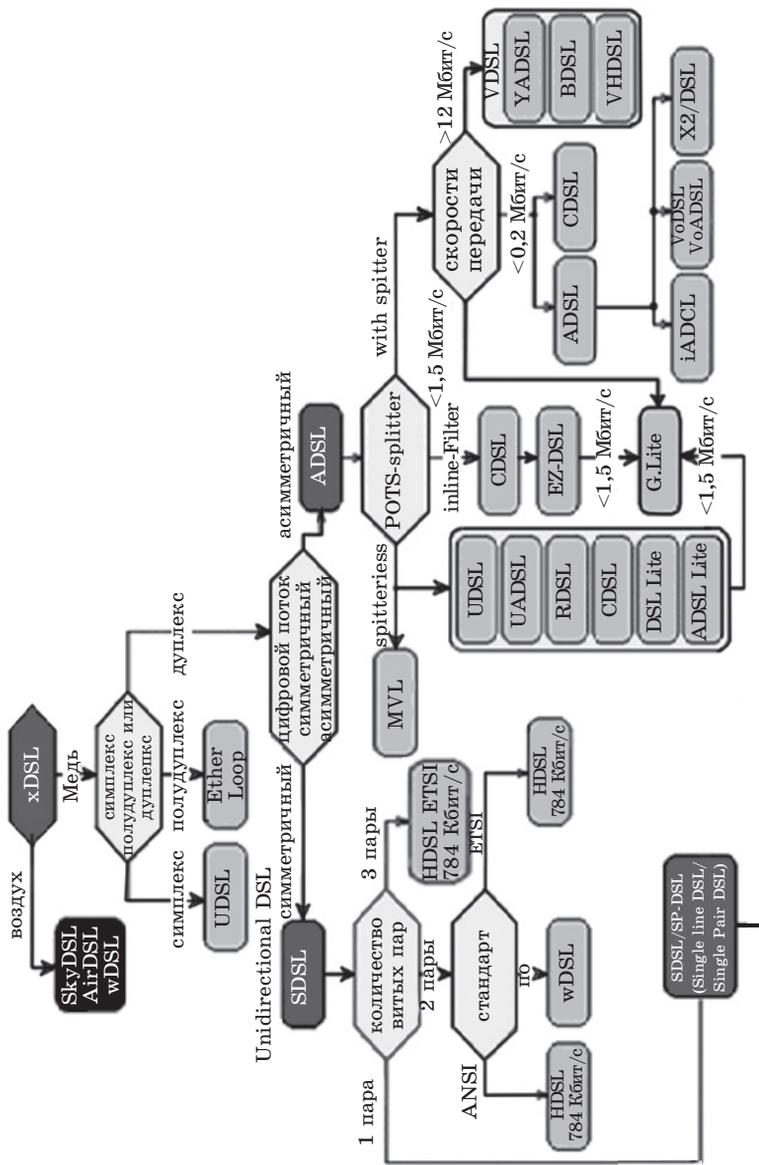
В настоящее время внедрилась разработка нового стандарта HPNA 3.0, по которому пропускная способность домашней сети должна достигнуть 100 Мбит/с.

Разработкой стандартов технологии PLC (Power Line Communications), реализуемой на базе инфраструктуры сетей электропитания, занимаются различные международные организации, такие как PLC Forum, Powerline World и Home Plug Powerline Alliance. Последняя из них приняла в 2001 году единый стандарт Home Plug 1.0 specification, в котором определены скорости передачи данных до 14 Мбит/с, методы доступа к среде передачи CSMA/CD или CSMA/CA и модуляции OFDM. Стандартизация PLC-технологии ведется также и в ETSI (стандарты: TS 101 867, TS 101 896, TR 102 049).

Технологии симметричного DSL-доступа

Технологии симметричного DSL-доступа используются при предоставлении услуг объединения LAN, организации выносов, подключении оборудования пользователя к транспортным сетям по симметричным медным линиям. К этой группе относятся технологии: HDSL, SDSL, MDSL, MSDSL, SHDSL, HDSL2/4 и VDSL.

Симметричные технологии xDSL различают по числу пар используемых проводов. При этом часть «родословное дерево» xDSL для симметричных технологий представлена на рисунке 6.4.



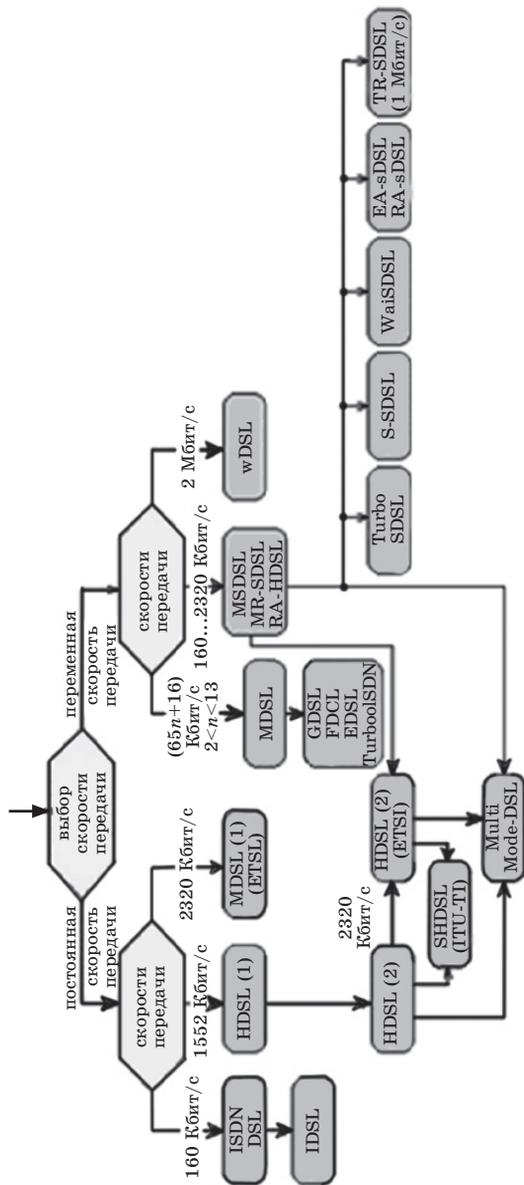


Рис. 6.4. «Родословное дерево» xDSL с разделением по средствам и направлению передачи

Сначала появился вариант HDSL для двух пар, нормированный в ANSI, который использует кодирование 2B1Q. Затем прошла стандартизация HDSL для трех, двух и одной пар в ETSI с использованием 2B1Q или CAP. Часто употребляются обозначения HDSL2 и SDSL2, причем технология HDSL2 рассчитана исключительно на передачу T1, а SDSL2 поддерживает скорости от 384 кбит/с до 2,304 Мбит/с (с шагом 64 кбит/с).

Зачастую полная скорость (544 или 2,304 Мбит/с) не требуется или необходимая дальность при этих скоростях не достигается. Поэтому появились новые системы, заполняющие «зазоры в скоростях»: сначала это были системы MDSL, работающие со скоростью от 160 до 784 кбит/с, позднее – системы MSDSL, обеспечивающие скорость передачи 160–320 кбит/с. MDSL представляет собой множество подсистем MSDSL, которые не были нормированы, а используемая технология соответствует HDSL.

Технологии SDSL2 предназначались в основном для делового сектора. Но возможности комбинированной передачи речи и данных, повышенная потребность частного сектора в скорости передачи и хороших технических характеристиках (таких как спектральная совместимость, аварийное питание и т.д.) могут в будущем привести к тому, что SDSL2 заменят ISDN в частном секторе и тем самым создадут серьезную конкуренцию асимметричным службам xDSL.

Системы SHDSL способны работать по одной или по двум витым парам со скоростью передачи соответственно от 192 до 2312 кбит/с с шагом 8 кбит/с и от 384 до 4624 кбит/с с шагом 16 кбит/с (рис. 6.5, 6.6).

В линии может быть установлено до 8 регенераторов (Рек. G.991.2 ITU-T). Длина линии при максимальной скорости достигает 20–30 км в зависимости от диаметра провода. Технология HDSL2/4 является аналогом SHDSL для потока T1 и стандартизирована в ANSIT1.TRQ.06-2001.

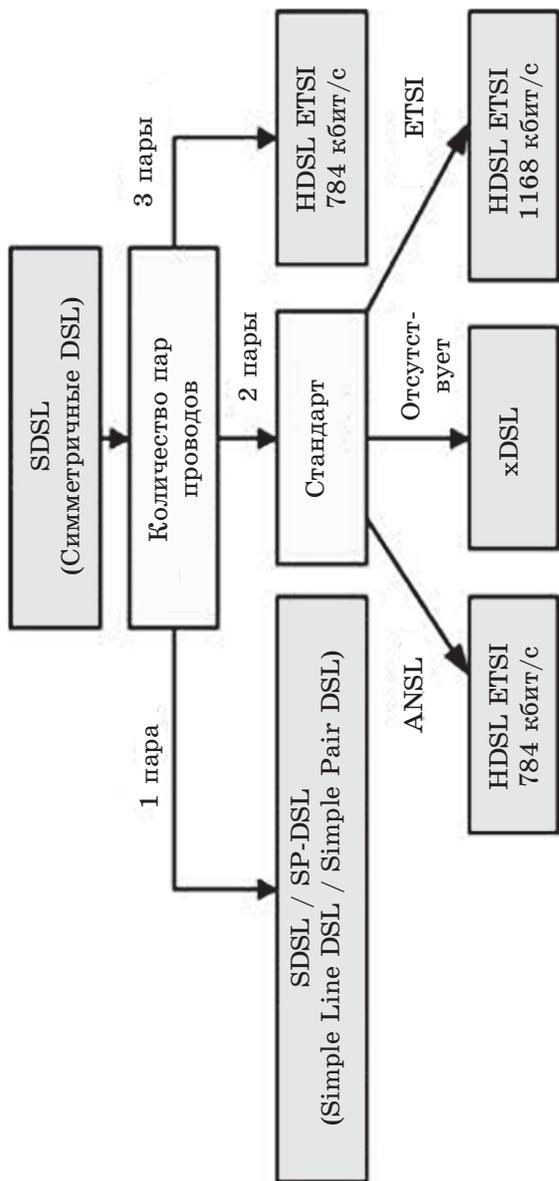


Рис. 6.5. Классификация симметричных xDSL-технологий по числу пар используемых проводов

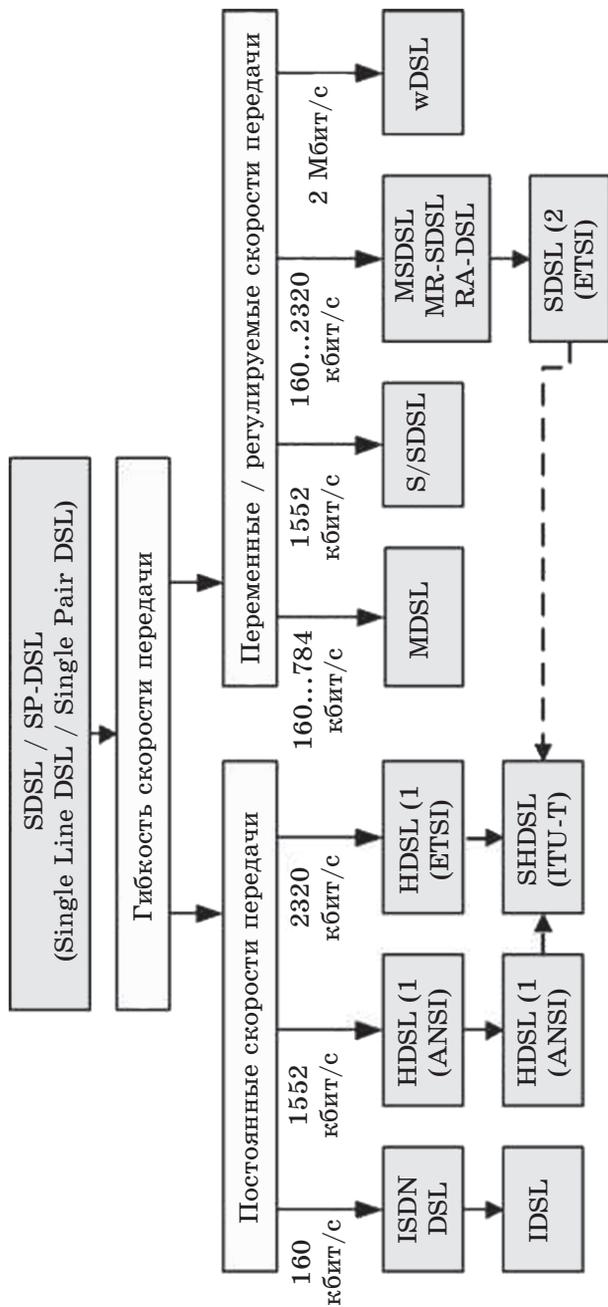


Рис. 6.6. Симметричные технологии xDSL для одной пары

Если первоначально развитие симметричных технологий xDSL в основном было ориентировано на потребности делового сектора, то асимметричные технологии xDSL (ADSL) предназначались для частного сектора. Такой подход определяет существенную разницу в требованиях к ним. В частном секторе было необходимо, чтобы уже существующая телефонная служба (ТфОП или BRI-ISDN) продолжала работать и при переходе на ADSL.

Классификация асимметричных xDSL-технологий приведена на рисунке 6.7.

ADSL (так называемая Full-rate ADSL) первоначально требовала наличия разветвителя. Технология обеспечивала максимальную скорость передачи в прямом направлении – 6,144 Мбит/с, а в обратном – 0,640 Мбит/с. Разделение осуществляется с помощью эхокомпенсации или методом частотного разделения. Разветвители необходимы как со стороны АТС, так и со стороны абонентов. В ADSL после долгой конкуренции CAP (амплитуднофазовая модуляция) и DMTV (дискретная мультитональная технология) последний вид модуляции получил наибольшее распространение.

Первые линии ADSL предполагали работу только на постоянных скоростях. Между тем современные решения ADSL могут регулировать скорость передачи в зависимости от качества линии. Из-за адаптивности скорости передачи эту технологию иногда называют RADSL (Rate Adaptive DSL). Она базируется на CAP и включена ANSI в спецификацию TR-59. Различают ADSL over POTS и ADSL over ISDN. В зависимости от вида применения используются различные диапазоны частот.

Первые версии ADSL имели следующие отношения скоростей передачи в прямом и обратном направлениях:

- ADSL1: 1,5 Мбит/с – 16 кбит/с;
- ADSL2: 3 Мбит/с – 16 кбит/с;
- ADSL3: 6 Мбит/с – 64 кбит/с.

Очень высокие скорости передачи в прямом и обратном направлениях достигаются с помощью VDSL. Ранее для VDSL использовались также обозначения VADSL,

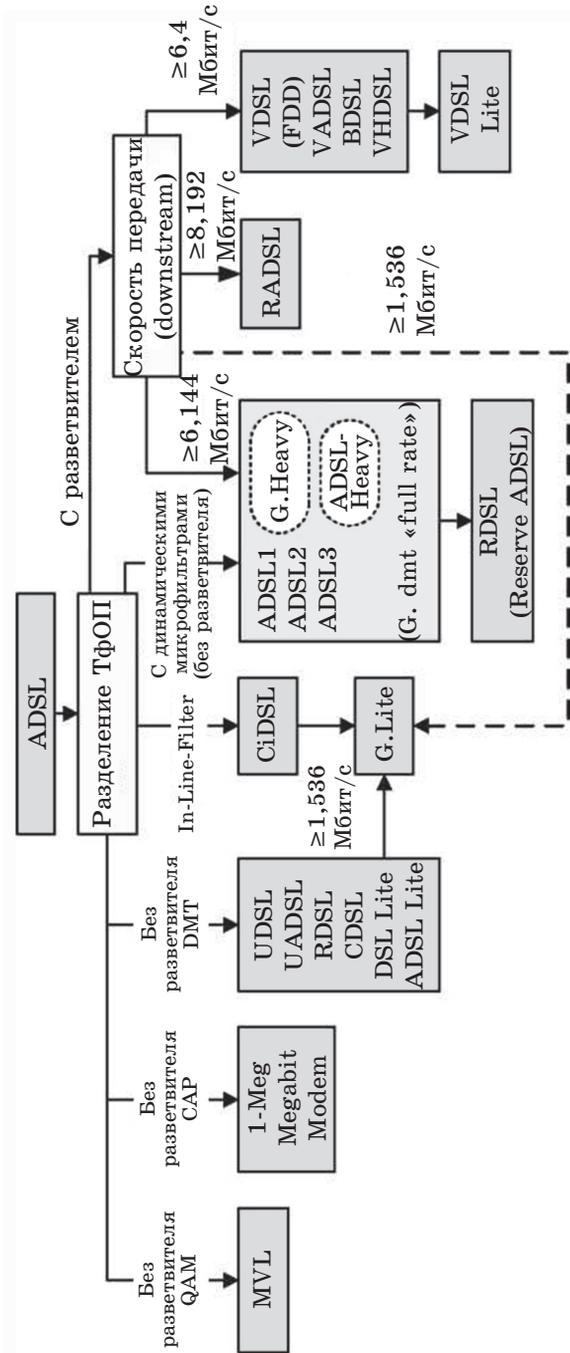


Рис. 6.7. Классификация асимметричных xDSL-технологий

BDSL (Broadband DSL) или VHDSL (Very High bitrate DSL). Стандартизация VDSL пока не закончена и не решено, какая из технологий будет выбрана: упомянутая выше технология, основанная на TDD, или технология на основе FDD. В настоящее время нормирование этих технологий не может быть полностью завершено, так как ни у одной из них нет особых преимуществ по сравнению с другой.

Внедрение ADSL на практике показало, что установка разветвителей связана с большими затратами, поэтому были начаты поиски технологий ADSL без разветвителя. Целым рядом фирм были предложены различные варианты, исходя из уменьшения скорости передачи в обоих направлениях по сравнению с ADSL (например, MVL – Multiple virtual Line DSL, CDSL – Consumer DSL, CiDSL – Consumer installable DSL). Удалось реализовать без разветвителя и «full rate ADSL». Технологии ADSL, не требующие разветвителя, были нормированы в МСЭ (G.992.1) и получили название G.Lite (а также ADSL.Lite или DSL.Lite). VDSL.Lite – технология, которая должна занять нишу между ADSL и VDSL.

Одним из самых популярных в последнее время является термин VoDSL (Voice over DSL), что буквально означает передачу речевых сигналов по цифровым линиям сети абонентского доступа. В целом данное обозначение подходит почти ко всем высокоскоростным технологиям xDSL. Отдельно выделяют VoSDSL и VoADSL, особенностью которых является сочетание сжатия речевых сигналов и ATM.

Положительный опыт производства и использования DSL-оборудования в сетях абонентского доступа привел к появлению аналогичных систем для цифровизации существующих магистральных медно-кабельных линий, которые пока еще слишком дорого заменять на волокно. Поэтому, хотя технологии xDSL и рассматриваются как временная замена оптоволоконных абонентских линий, они еще долго будут востребованы в сетях абонентского доступа, включая сети специального назначения.

Технологии кабельных телевизионных сетей

Использование сетей кабельного телевидения (КТВ) для построения интерактивных сетей доступа к мультимедийным услугам стало возможным с появлением в 1997 году стандарта DOCSIS (Data over Cable Service Interface Specification), разработанного по инициативе организации операторов кабельных сетей Северной Америки MCNS (Multimedia Network System Partners Ltd.). Для построения гибридных (HFC – Hybrid Fiber Coaxial) сетей КТВ сегодня имеется пять стандартов:

- три американских (DOCSIS 1.0, DOCSIS 1.1 и DOCSIS 2.0);
- один европейский (Euro-DOCSIS);
- один международный (Рек. G.112 ITU-T), объединяющий требования американских и европейского стандартов.

Дальнейшее развитие европейского (IPCableCom) и американского (PacketCable) вариантов спецификаций на HFC-сети продолжается в части создания дополнительных возможностей и внедрения новых услуг.

Для организации прямого канала в сетях КТВ США применяется полоса частот 6 МГц (Рек. J.83.B. ITU-T) в диапазоне частот 88–860 МГц. При использовании модуляции 256QAM скорость передачи данных в прямом канале достигает 42 Мбит/с. В Европе для этих целей занимается полоса частот 8 МГц (Рек. J.83.A ITU-T) в диапазоне частот 108–862 МГц, а скорость передачи составляет 52 Мбит/с.

Отличие европейских и американских сетей КТВ не ограничивается только указанными характеристиками. Они разнятся также методами сигнализации и организации интерфейса V5, методами обеспечения безопасности и т.д. В целом эти различия и определили появление двух стандартов на обратный канал в интерактивных сетях КТВ:

- DOCSIS;
- EuroDOCSIS.

Рассмотрим различные реализации данных стандартов.

DOCSIS 1.0. Этот стандарт был создан для сетей КТВ США. Он определяет физический и MAC-уровни, уровень управления для кабельных модемов и головных станций, принципы обеспечения сетевой безопасности и качества обслуживания. Для организации обратного канала используется диапазон 5.42 МГц. Метод доступа к обратному каналу – TDMA, методы модуляции:

– QPSK и QAM-16, скорость передачи – до 1 Мбит/с. Для защиты информации используется стандарт цифрового шифрования DES с длиной ключа 40 бит. Модель обеспечения качества обслуживания основана на классах обслуживания QoS. Прямой канал с полосой частот 6 МГц (Рек. J.83.В ITU-T) может быть организован в диапазоне частот 88.860 МГц. Методы модуляции в прямом канале – QAM-64 и QAM-256, скорости передачи соответственно 30,34 и 42,88 Мбит/с.

DOCSIS 1.1. Вторая версия стандарта была создана в 1999 г. В ней была увеличена скорость передачи в обратном канале до 5 Мбит/с, улучшена эффективность использования пропускной способности обратного канала за счет введения механизмов фрагментации пакетов и подавления заголовков, повышена сетевая безопасность благодаря введению аутентификации кабельных модемов.

DOCSIS 2.0. В третьей версии стандарта, опубликованной в 2002 г., пропускная способность обратного канала увеличена до 30,72 Мбит/с при ширине полосы частот до 6,4 МГц. В качестве метода доступа к обратному каналу используются варианты Advanced TDMA (A-TDMA) или Synchronous CDMA (S-CDMA). В обратном канале дополнительно используются методы модуляции QAM-8, QAM-32, QAM-64, а также QAM-128 с решетчатым кодированием.

Euro-DOCSIS. Эта спецификация представляет собой вариант американского стандарта DOCSIS, адаптированного к европейским кабельным сетям. Для органи-

зации обратного канала выделен диапазон 5.65 МГц, для прямого канала – 108.862 МГц. Полоса частот в прямом канале – 8 МГц (Рекомендации J.83.A ИТУ-Т). Методы модуляции в прямом канале – QAM-64 и QAM-256, скорости передачи соответственно около 37 Мбит/с и 52 Мбит/с.

Рек. J.112. В 1998 году версия DOCSIS 1.0 была принята ИТУ-Т в качестве международного стандарта J.112. Расширения этого стандарта изложены в опубликованных позднее приложениях А, В и С.

Разработки европейской спецификации технологии интерактивных ОТС-сетей ведутся в настоящее время под общим названием IPcableCom. В США подобная разработка проводится в лаборатории CableLabs в рамках проекта PacketCable. Совершенствование этих технологий идет по пути создания дополнительных возможностей и внедрения новых услуг. Основные отличия спецификации связаны с особенностями построения телекоммуникационных сетей в Европе и США.

Технологии доступа на волоконно-оптических линиях

В настоящее время для предоставления пользователям широкополосных услуг используются обычно смешанные медно-оптические сети доступа. В настоящее время существует несколько основных концепций разворачивания сети доступа смешанного типа с использованием волоконно-оптических линий связи:

- технология HFC (Hybrid Fiber Coaxial) предполагает доведение оптики до точки концентрации, при этом распределительная абонентская сеть строится на основе коаксиальных кабелей. Данная архитектура не получила широкого распространения и используется обычно лишь операторами кабельного телевидения;

- концепция FTTx и ее различные варианты;

- технология пассивных оптических сетей (PON).

Варианты доступа FTTH и FTTB не так широко распространены, как системы DSL доступа. Связано это в

ТфОП	ISDN	LAN	DSL	КТВ	ОАН	СКД
– телефон; – факс; – модем ПД; – выделенная линия.	– ISDN-BRA; – ISDN-PRA.	– Ethernet; – Fast Ethernet; – Gigabit Ethernet; – Token Ring; – HSTR; – FDDI; – CDDI; – SDDI; – EoV.	Симметр. доступ – DSL; – HDSL; – SDSL; – SHDSL; – MDSL; – MSDSL; – VDSL. Асимметр. доступ – ADSL; – RADSL; – G.Lite; – ADSL2; – ADSL2+; – VDSL.	– DOCSIS 1.0; – DOCSIS 1.1; – DOCSIS 2.0; – Euro-DOCSIS; – J.112; – IP-Cable-Com; – Packet-Cable.	– FTTx ; – FTTH; – FTTB; – FTTC; – FTTCab. – PON ; – APON; – EPON; – BPON; – GPON.	– HPNA 1.x; – HPNA 2.0; – HPNA 3.0; – PLC; – EFM.

Рис. 6.8. Классификация систем доступа к высокоскоростным сетям

основном с тем, что их реализация требует от оператора значительно больших инвестиций, чем построение DSL-инфраструктуры, поскольку для предоставления абоненту высокоскоростного канала (до нескольких Гбит/с) необходимо во много раз увеличить пропускную способность опорных сетей, протянуть оптоволокно до абонента, разработать немало новых приложений и, самое главное, убедить абонента заплатить за это деньги. Поэтому многие операторы до сих пор стараются использовать имеющуюся медно-кабельную инфраструктуру.

Таким образом, вложения в инфраструктуру ВОЛС являются эффективными и долговременными, а внедрение технологий FTTx становится оправданным и весьма перспективным направлением, в том числе и в России.

В связи с актуальностью применения технологий FTTx и PON их технические параметры и особенности реализации далее рассматриваются более подробно. Классификация систем доступа к высокоскоростным сетям показана на рисунке 6.8.

Анализ технологий доступа в сетях связи в Узбекистане

По различным оценкам экспертов основными наиболее распространенными технологиями сетей доступа являются:

- технология PON;
- технология FTTH (как правило, на основе семейства технологий xPON);
- технология ADSL 2+.

Технология PON по экономическим показателям более приспособлена к «ковровому» покрытию, чем к точечным инсталляциям. При помощи технологии GPON стало возможным обеспечить доступ в Интернет на скорости до 50 Гбит/с и более. Протяженность оптоволоконного кабеля от сетевого узла до потребителя может достигать 20 км. При этом ведутся разработки, которые

позволят увеличить расстояние до 60 км. Технология основывается на перспективном стандарте G.984.4, который постоянно совершенствуется для добавления новых сервисов и интерфейсов в систему PON.

Технология активных оптических сетей FTTB является основным конкурентом пассивных сетей FTTH сегодня и в среднесрочной перспективе. Данная технология на сегодняшний момент удовлетворяет потребности пользователей и широко используется как в Узбекистане, так и за рубежом. Технология FTTB в совокупности с Fast Ethernet обеспечивает оптимальное соотношение по качеству, пропускной способности и затратам на строительство сети, и в отличие от технологии PON более выгодна при точечных подключениях.

Технология ADSL 2+, согласно мнению экспертов, является доминирующей технологией построения широкополосных сетей доступа для традиционных операторов в Узбекистане. Технология была разработана для расширения возможностей технологии ADSL, утвержденной ITU в 1999 году. На данный момент сети, построенные на ADSL 2+, развернуты во многих странах мира, однако, технология постепенно устаревает и в ближайшее время уже не сможет удовлетворять растущие потребности абонентов по скорости передачи информации. Основными преимуществами данной технологии являются низкая стоимость развертывания сети, в том числе низкая стоимость абонентских устройств, а также возможность устанавливать абонентские устройства по мере получения заявок абонентов.

В мире не существует технологии ШПД, однозначно признанной наиболее эффективной. Традиционные операторы во многих странах до сих пор эксплуатируют медные сети доступа с технологией асинхронной передачи данных семейства ADSL.

Среди оптических сетей доступа предпочтения по технологиям в разных странах могут диаметрально отличаться. Среди стран мира наибольшее проникновение технологии FTTH зафиксировано в ОАЭ – 55%. Далее

следуют Япония и Южная Корея – 26% и 16% соответственно. Узбекистан заметно отстает по данному показателю – проникновение составляет примерно 1%.

Технология FTTH доминирует в ОАЭ, Норвегии, Словении, Латвии, Дании, Португалии, Нидерландах, Малайзии, Италии, Канаде и Румынии. Технология FTTB доминирует в Узбекистане, Южной Корее, Гонконге, Тайване, России, Болгарии, Эстонии, Китае, Финляндии, Чехии, Франции, Украине и Турции. В остальных странах FTTB и FTTH делят рынок приблизительно пополам.

В мире нет единого мнения о лучшем стандарте семейства xPON. В США встречаются как минимум три варианта пассивных оптических сетей. Европа и Япония ориентируются на единые, но различные архитектуры.

Все операторы Узбекистана, использующие пассивные оптические сети доступа, остановили свой выбор на FTTB (стандарт G.984.4).

Первым оператором в Узбекистане, начавшим строительство и развитие оптоволоконных сетей до квартир потенциальных пользователей на базе технологии GPON, является Uztelekom.

Uztelekom в краткосрочной и среднесрочной перспективах остается основным потребителем технологии xPON.

6.2. Цифровая абонентская линия ISDN

Сокращение DSL (Digital Subscriber Line – Цифровая абонентская линия) изначально использовалось по отношению к ISDN-BA (доступ базового уровня к цифровой сети связи с интеграцией услуг).

В большинстве своем модемы ISDN-BA используют технологию компенсации эхо-сигналов, которая позволяет организовать полностью дуплексную передачу на скорости 160 Кбит/с по одной ненагруженной паре телефонных проводов. Трансиверы ISDN-BA, в кото-

рых используется технология эхоподавления, позволяют использовать полосу частот приблизительно от 10 до 100 кГц, а пик спектральной плотности мощности систем DSL, базирующихся на 2B1Q, находится в районе 40 кГц с первым спектральным нулем на частоте 80 кГц. 4-уровневый линейный код PAM (амплитудно-импульсная модуляция, прямая, немодулированная передача), известный как 2B1Q, был разработан компанией BT Laboratories. ETSI (Европейский институт телекоммуникационных стандартов) адаптировал этот код для Европы и также в качестве альтернативы разработал линейный код 4B3T (MMS43), в основном используемый в Германии.

Системы ISDN-BA выгодно отличаются тем, что могут использоваться на длинных телефонных линиях, и большая часть абонентских линий допускает использование данных систем. Данная технология уже используется в течение значительного времени, и за последние годы было достигнуто значительное улучшение рабочих характеристик трансиверов.

Передача данных по линии DSL обычно осуществляется по двум каналам «В» (каналам передачи информации) со скоростью 64 Кбит/с по каждому, плюс по каналу «D» (служебному каналу), по которому со скоростью 16 Кбит/с передаются сигналы управления и служебная информация, иногда он может использоваться для пакетной передачи данных (рис. 6.9). Это обеспечивает пользователю возможность доступа со скоростью 128 Кбит/с (плюс передача служебной информации – итого 144 Кбит/с). Дополнительный служебный канал в 16 Кбит/с предоставляется для встроенного служебного канала, который предназначен для обмена информацией (например, статистики работы линии передачи данных) между LT (линейным окончанием) и NT (сетевым окончанием). Обычно встроенный эксплуатационный канал недоступен конечному пользователю.

По всему миру было установлено несколько миллионов линий ISDN-BA. Потребность в линиях ISDN зна-

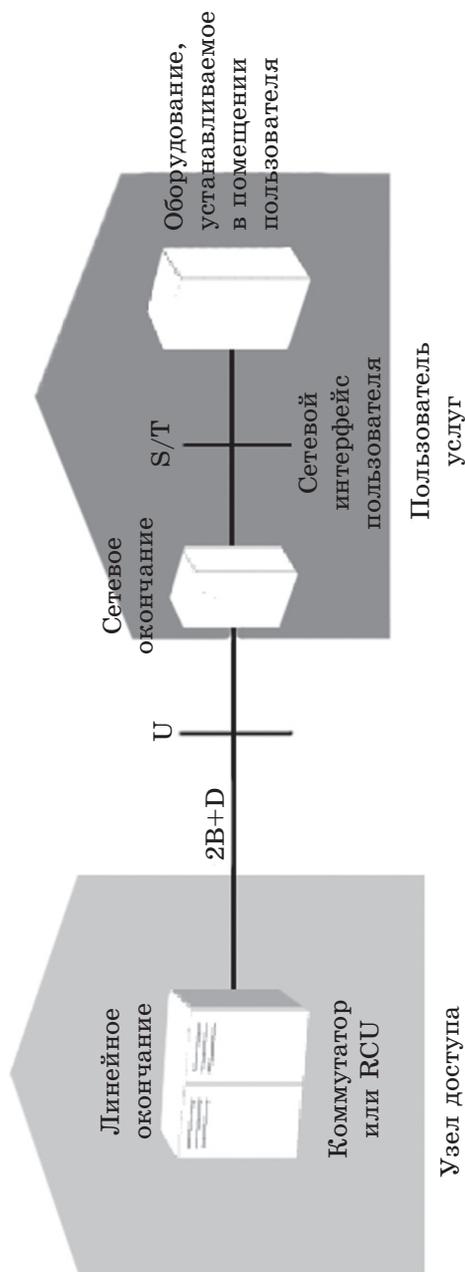


Рис. 6.9. Концепция ISDN-BA базового уровня (DSL)

чительно увеличилась, так как значительно выросла потребность в высокоскоростном доступе в сеть Интернет.

Технология IDSL обеспечивает полностью дуплексную передачу данных на скорости до 144 кбит/с. В отличие от ADSL возможности IDSL ограничиваются только передачей данных.

Несмотря на то, что IDSL, так же как и ISDN, использует модуляцию 2B1Q, между ними имеется ряд отличий. В отличие от ISDN линия IDSL является некоммутируемой линией, не приводящей к увеличению нагрузки на коммутационное оборудование провайдера. Также линия IDSL является «постоянно включенной» (как и любая линия, организованная с использованием технологии DSL), в то время как ISDN требует установки соединения.

6.3. Асимметричная цифровая абонентская линия ADSL

Технология ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line – Асимметричная цифровая абонентская линия) также была разработана в Северной Америке в середине 1990-х годов. Она была разработана для предоставления таких услуг, которые требуют асимметричной передачи данных, например, видео по запросу, когда требуется передавать большой поток данных в сторону пользователя, а в сторону сети от пользователя передается гораздо меньший объем данных.

Такая асимметрия, в сочетании с состоянием «постоянно установленного соединения» (когда исключается необходимость каждый раз набирать телефонный номер и ждать установки соединения), делает технологию ADSL идеальной для организации доступа в сеть Интернет, доступа к локальным сетям (ЛВС) и т.п. При организации таких соединений пользователи обычно получают гораздо больший объем информации, чем передают.

Технология ADSL обеспечивает скорость «нисходящего» потока данных в пределах от 1,5 до 8 Мбит/с и скорость «восходящего» потока данных от 640 Кбит/с до 1,5 Мбит/с. ADSL позволяет передавать данные со скоростью 1,54 Мбит/с на расстояние до 5,5 км по одной витой паре проводов. Скорость передачи порядка 6–8 Мбит/с может быть достигнута при передаче данных на расстояние не более 3,5 км по проводам диаметром 0,5 мм.

Для ADSL требовалось очень высокое качество передачи (коэффициент битовых ошибок BER не менее 1×10^{-9}), потому что была нужна технология передачи потоков видеоданных с кодировкой MPEG, характеризующейся очень высоким битрейтом и низкой избыточностью, когда даже единичные ошибки оказывают значительное влияние на качество изображения. Это потребовало использования технологий чередования данных и FEC (упреждающая коррекция ошибок), которые никогда не рассматривались по отношению к ISDN-BA или HDSL. Ценой за это послужило увеличение времени ожидания. Именно поэтому ранние системы ADSL имели задержку в 20 мс по сравнению с ISDN-BA или HDSL, которые не превышали предел в 1,25 мс.

Кроме того, что технология ADSL обеспечивает крайне асимметричную передачу данных, она также отличается от ISDN-BA/HDSL тем, что позволяет использовать ту же самую пару проводов для традиционной телефонной связи. Для этого используются специальные устройства разделения сигналов (сплиттеры) (рис. 6.10).

ADSL использует технологию FDD (частотное разделение для обеспечения дуплексной связи), которая позволяет выделить одну полосу частот для восходящего потока данных (направление от пользователя к станции), а другую полосу частот – для нисходящего потока данных (от станции к пользователю) (рис. 6.11).

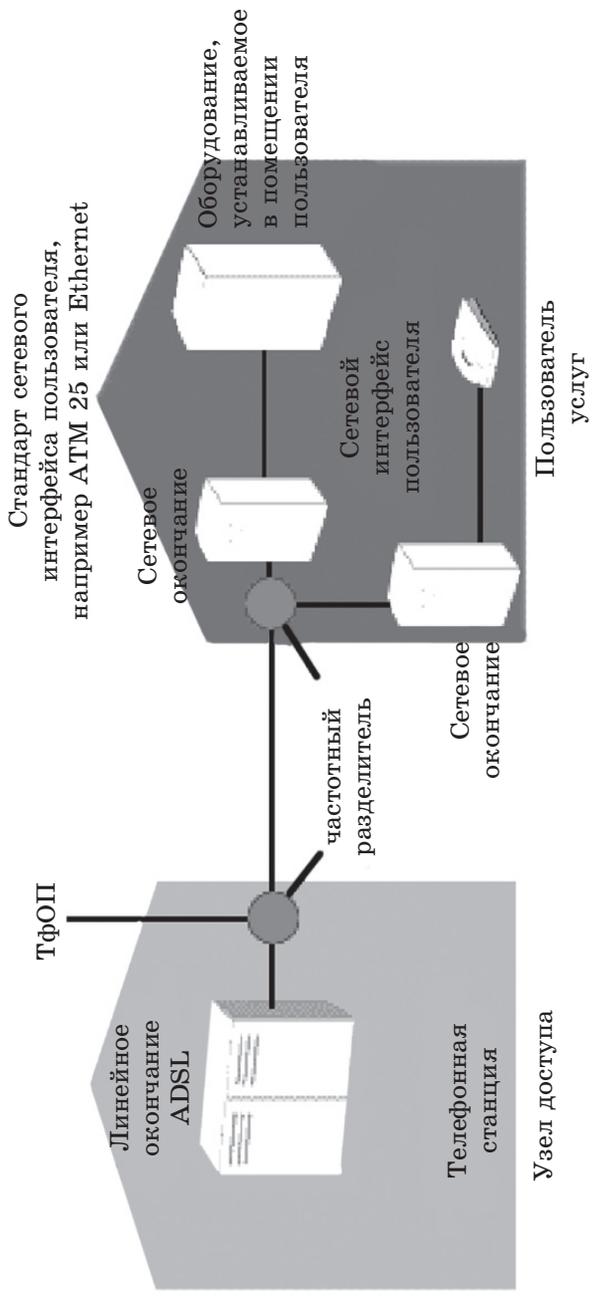


Рис. 6.10. Концепция асимметричной цифровой абонентской линии (ADSL)

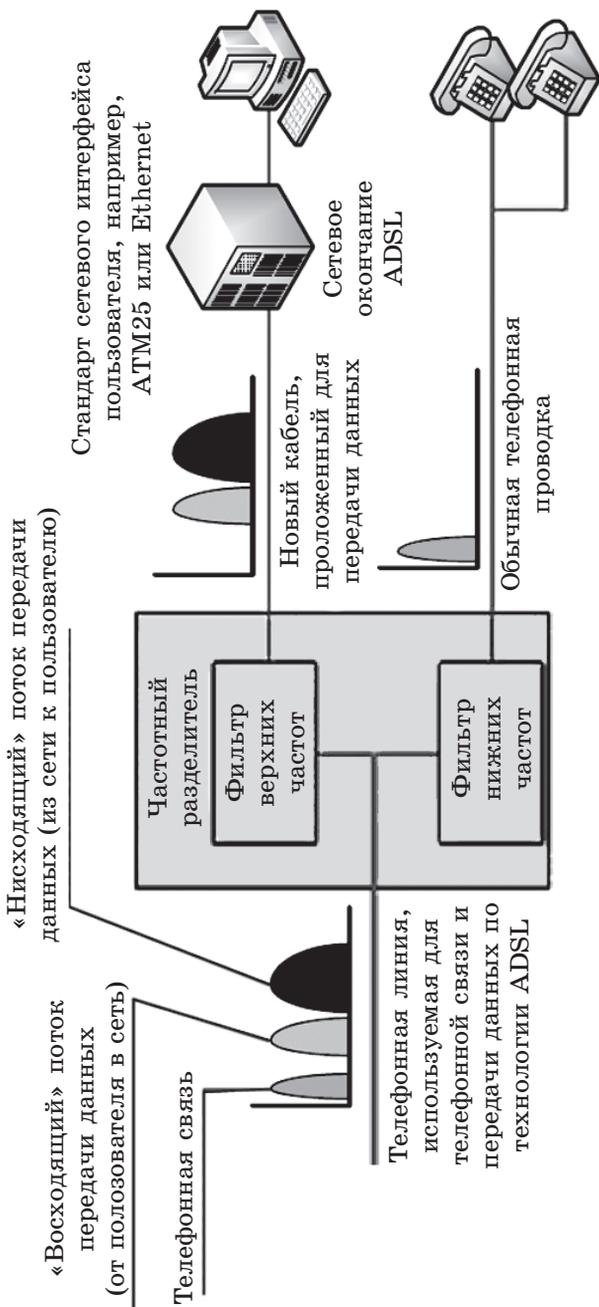


Рис. 6.11. Пример ADSL с частотным уплотнением и сплиттером

Технология FDD позволяет расширить используемую полосу частот приблизительно до 1 МГц. В некоторых вариантах ADSL используется технология подавления эхо-сигналов, что позволяет еще лучше использовать доступный спектр частот, перекрывая часть диапазона, занятого нисходящим потоком данных, передачей данных в восходящем направлении.

Одно из главных преимуществ технологии ADSL по сравнению с аналоговыми модемами и протоколами ISDNHDSL и SHDSL – то, что поддержка голоса никак не отражается на параллельной передаче данных по двум быстрым каналам. Это связано с тем, что ADSL основана на принципах разделения частот, благодаря чему голосовой канал надежно отделяется от двух других каналов передачи данных.

Оборудование ADSL, размещенное на АТС, и абонентский ADSL-модем, подключаемые к обоим концам телефонной линии, образуют три группы каналов (три поддиапазона) передачи данных и телефонии:

- высокоскоростную из сети в компьютер (скорость – от 32 Кбит/с до 8 Мбит/с);
- скоростную от компьютера в сеть (скорость – от 32 Кбит/с до 1 Мбит/с);
- простой канал телефонной связи, по которому передаются обычные телефонные разговоры.

Технология OFDM для ADSL-DMT (Discrete Multi Tone)

В рамках скоростных каналов для передачи данных используется устойчивая к узкополосным помехам и шумам технология DMT, в соответствии с которой вся свободная от телефонии полоса (от 26 кГц до 1,1 МГц для базовой технологии и до 2,2 МГц для ADSL2+) делится на элементарные каналы шириной немногим более 4 кГц, и разные несущие одновременно переносят различные части передаваемых данных. Величина максимально достижимой скорости передачи/приема данных при этом, повторимся, зависит от длины и качества телефонной линии.

Основные положения метода модуляции DMT (Discrete Multi Tone) были сформулированы и запатентованы специалистами Amati Communications еще в начале 1990-х годов. С 1993 года технология стандартизирована ANSI в качестве метода линейного кодирования для систем передачи данных. На настоящий момент DMT является одной из основных схем модуляции для технологий ADSL и VDSL (рис. 6.12).

Технология DMT использует не одну, а группу частот несущих колебаний. Весь расчетный частотный диапазон линии делится на несколько участков шириной по 4,3125 кГц. Каждый из них используется для организации независимого канала передачи данных. На этапе проверки качества линии передатчик, исходя из уровня помех в частотном диапазоне участка, для каждого из этих каналов выбирает подходящую модуляционную схему.

На «чистых» каналах с малым уровнем шумов могут быть использованы «продвинутые» методы модуляции с высоким уровнем, например QAM-64, на более зашумленных участках – типа QPSK. Такой принцип регулирования скорости обмена позволяет наиболее точно согласовывать параметры модулированного сиг-

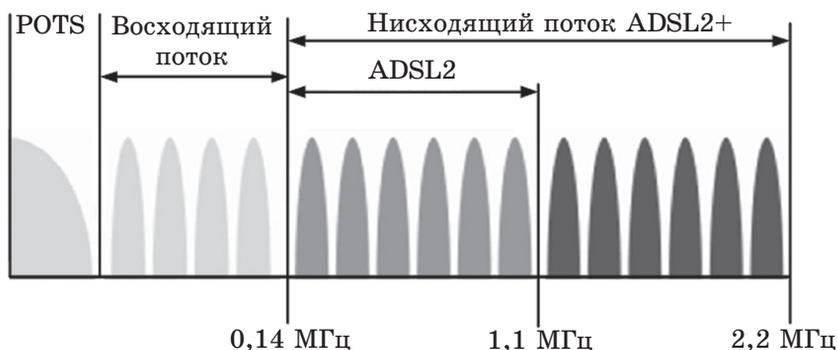


Рис. 6.12. Технологии ADSL/ADSL2+: использование частотного диапазона линии

нала с параметрами линии, по которой он будет передаваться. При передаче данных информация распределяется между независимыми каналами пропорционально их пропускной способности, приемнику остается выполнить операцию демультимплексирования и восстановить исходный информационный поток.

Скорости нисходящего и восходящего потоков данных в ADSL изменяются и зависят от длины абонентской телефонной линии и уровня шумов. В основном на ADSL оказывают влияние помехи на дальнем конце линии (FEXT), в то время как ISDN-BA и HDSL обычно имеют ограничения из-за помех на ближнем конце линии (NEXT). Именно то, что основные ограничения касаются помех на дальнем конце линии, позволяет достигнуть скорости передачи для нисходящего потока данных в 2 Мбит/с по большинству абонентских телефонных линий. Полоса частот, используемая для восходящего потока данных, по технологии значительно уже, поэтому обычно скорость передачи восходящего потока данных достигает нескольких сотен Кбит/с.

Трансивер ADSL может выступать не только средством битовой передачи, но и средством передачи ячеек ATM, т.е. иметь мультисервисные возможности.

6.4. Цифровой абонентский доступ по линии электропередачи PCL

Для линий связи PDSL (Power Digital Subscriber Line – Цифровой абонентский доступ по линии электропередачи) также применим термин PLC (англ. Power-line communication) – термин, описывающий несколько разных систем для использования линий электропередачи (ЛЭП) для передачи голосовой информации или данных. Сеть может передавать голос и данные, накладывая аналоговый сигнал поверх стандартного переменного тока частотой 50 Гц или 60 Гц. PLC включает BPL (англ. Broadbandover Power Lines – Широкополосная передача через линии электропередачи), обеспечи-

вающий передачу данных со скоростью более 1 Мбит/с, и NPL (англ. Narrowbandover Power Lines – узкополосная передача через линии электропередачи) со значительно меньшими скоростями передачи данных.

Технология PLC базируется на использовании силовых электросетей для высокоскоростного информационного обмена. Эксперименты по передаче данных по электросети велись достаточно давно, но низкая скорость передачи и слабая помехозащищенность были наиболее узким местом данной технологии. Но появление более мощных DSP-процессоров (цифровые сигнальные процессоры) дали возможность использовать более сложные способы модуляции сигнала, такие как OFDM-модуляция, что позволило значительно продвинуться вперед в реализации технологии PLC.

В 2000 году несколько крупных лидеров на рынке телекоммуникаций объединились в Home Plug Power Line Alliance с целью совместного проведения научных исследований и практических испытаний, а также принятия единого стандарта на передачу данных по системам электропитания. Прототипом Power Line является технология Power Packet фирмы Intellon, положенная в основу для создания единого стандарта Home Plug1.0 (принят альянсом Home Plug 26 июня 2001 года), в котором определена скорость передачи данных до 14 Мбит/с.

Основой технологии Power Line является использование частотного разделения сигнала, при котором высокоскоростной поток данных разбирается на несколько относительно низкоскоростных потоков, каждый из которых передается на отдельной поднесущей частоте с последующим их объединением в один сигнал. Реально в технологии Power Line используются 84 поднесущие частоты в диапазоне 4–21 МГц.

При передаче сигналов по бытовой электросети могут возникать большие затухания в передающей функции на определенных частотах, что может привести к потере данных. В технологии Power Line предусмотрен

специальный метод решения этой проблемы – динамическое включение и выключение передачи сигнала. Суть данного метода заключается в том, что устройство осуществляет постоянный мониторинг канала передачи с целью выявления участка спектра с превышением определенного порогового значения затухания. В случае обнаружения данного факта использование этих частот на время прекращается до восстановления нормального значения затухания.

Существует также проблема возникновения импульсных помех (до 1 мкс), источниками которых могут быть галогенные лампы, а также включение и выключение мощных бытовых электроприборов, оборудованных электрическими двигателями.

Преимущества:

- простота использования;
- не требуется прокладка отдельного кабеля.

Недостатки:

– крайне уязвима со стороны радиопередающих устройств коротковолнового диапазона (включая легальные радиовещательные и радилюбительские радиостанции);

– пропускная способность сети по электропроводке делится между всеми ее участниками;

– требуются специальные совместимые сетевые фильтры и ИБП. Через обычные не работает;

– нарушается радиоприем, особенно на средних и коротких волнах.

– на качество связи оказывают отрицательное влияние энергосберегающие лампы, импульсные блоки питания, зарядные устройства, выключатели освещения и т.п. и т.д. (снижение скорости около от 5 до 50%);

– на качество и скорость связи оказывает отрицательное влияние топология и качество электропроводки, тип/режим/мощность бытовых электроприборов и устройств, наличие скруток (снижение скорости до полного пропадания);

- монтаж требует работы под напряжением;

– поскольку стандарт пересекается с коротковолновым диапазоном частот, то создаются взаимные помехи для связной и радиовещательной аппаратуры.

Повсеместное распространение стандарта делает невозможным прием коротковолновых передач на расстоянии от сотен метров до километров от зданий и вблизи ЛЭП, где применяется данная технология.

В связи с вышеперечисленным, а также в связи с широкой доступностью помехоустойчивых Ethernet и DSL технологий, технология PLC не может серьезно рассматриваться как техническое решение для построения высокоскоростных систем абонентского доступа из-за высокой уязвимости к промышленным помехам и излучениям.

6.5. Стандартные конфигурации проводного широкополосного доступа

При решении проблемы широкополосного доступа пользователей с помощью технологий xDSL, кабельных модемов и беспроводных технологий сетевые операторы ищут оптимальные способы конфигурации доступа, которые позволили бы минимизировать затраты, связанные с модернизацией существующих инфраструктур абонентского доступа, а также упростить и ускорить процесс предоставления новых услуг.

Существует целый ряд альтернативных способов конфигурации доступа, важнейшими из которых являются следующие:

- метод доступа с использованием статической адресации IP;
- метод доступа с использованием динамической адресации IP на основе протокола DHCP (Dynamic Host Control Protocol);
- метод доступа с использованием протокола PPP (Point-to-Point Protocol, точка-точка) «поверх» («over») ATM (PPPoA);

– метод доступа с использованием протокола PPP «поверх» Ethernet (PPPoE).

Хотя каждый из этих способов может потенциально применяться в определенных приложениях, метод PPPoE наиболее полно удовлетворяет требованиям пользователей, позволяя провайдерам услуг использовать существующее аппаратное и программное обеспечение, включая системы обеспечения доступа и оплаты услуг связи.

Рассмотрим более подробно перечисленные способы конфигурации доступа к сетевым услугам.

1) Статическая адресация IP является наиболее прямым и, вместе с тем, наиболее дорогим способом, поскольку каждому абоненту присваивается индивидуальный IP-адрес. Очевидно, что этот способ имеет недостаточную масштабируемость; его применение целесообразно в локальной сети, где количество компьютеров мало и не предполагается их дальнейшее увеличение. Пользователи такой сети имеют доступ практически к любым сетевым услугам, поскольку эта архитектура доступа не поддерживает процедуры аутентификации пользователя, т.е. адресации невозможны. Поскольку каждая статическая IP-адресация требует жесткой конфигурации для каждого абонента, возможные модификации сети затруднены, а вся архитектура требует существенных затрат на инсталлирование и неудобна при смене конфигурации сети. Однако для пользователей, имеющих достаточные финансовые возможности, наличие постоянного доступа на основе статистического IP-адреса является хорошим вариантом.

2) Протокол динамического распределения адресов DHCP выгодно отличается от статической адресации прежде всего своей гибкостью, поскольку она опирается на использование серверов DHCP, которые автоматически приписывают IP-адреса и конфигурируют доступ абонентов к сети прозрачно для пользователей. Поэтому предоставление широкополосных услуг с помощью DHCP оказывается более простым, чем в случае

применения статической адресации. Кроме того, DHCP позволяет выполнять централизованно изменения в сети.

Способ DHCP лучше подходит для крупной сети. Когда абонент, использующий протокол DHCP, выходит в сеть, сервер DHCP выдает ему разрешение на использование адресов IP в течение определенного времени, называемого временем аренды (причем это время может быть и неограниченным).

Однако подобно статической адресации, способ DHCP неспособен аутентифицировать конечных пользователей и поэтому при этом способе возможно применение только метода постоянной оплаты пользователем сетевых услуг. Способ DHCP в сочетании с дополнительным ПО аутентификации является чрезвычайно сложным, поскольку требует организации интерфейсов в реальном масштабе времени между сервером DHCP, сервером аутентификации пользователей RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service), сервером широкополосного доступа BRAS (Broadband Remote Access Server) и сервером биллинга (т.е. расчета оплаты услуг связи). Кроме трудности исполнения, этот способ требует также выполнения дополнительных эксплуатационных и административных условий, поскольку необходимо тесно интегрировать множество различных приложений, чтобы сделать процедуру аутентификации успешной. Но даже в случае нормальной работы вышеуказанного способа, все равно остается возможность несанкционированного доступа в сеть до момента начала процедуры аутентификации.

Рассмотренные выше механизмы конфигурирования конечных пользователей на основе статических IP и протоколе DHCP требуют подготовительных операций и ограничены возможностью установления соединения одновременно только с одним провайдером услуг.

3) Протокол «точка-точка» PPP. Наибольшее применение уже более десяти лет нашла архитектура, основанная на применении протокола PPP (Point-to-Point

Protocol, точка – точка), требующего подтверждения пользователем его пароля перед началом процесса конфигурирования сети. Таким образом, органичной особенностью этого способа является встроенная процедура аутентификации, позволяющая корректно отслеживать время предоставления и оплату сетевых услуг. Эта архитектура уже более 10 лет успешно используется десятками миллионов пользователей в качестве основной в системе коммутируемого абонентского соединения (dial-up networking) через телефонную сеть общего пользования (ТФОП). Благодаря встроенным универсальным механизмам идентификации пользователя и расчета стоимости предоставляемых услуг (известным также под названием функций AAA – Authentication, Authorization, Accounting) не требуется изменений существующих серверов баз данных при добавлении новых услуг (в том числе и услуг, предоставляемых технологиями xDSL). Иными словами, архитектура PPP позволяет провайдерам услуг связи защитить прошлые инвестиции уже при создании новых широкополосных услуг с целью привлечения новых пользователей на отличающемся сильной конкуренцией рынке услуг связи.

Протокол PPP может выполняться двумя способами:

- PPP «поверх» («over») ATM (PPPoA);
- PPP «поверх» («over») Ethernet (PPPoE).

3.1) PPPoA. Ключевое преимущество PPPoA – это способность обеспечения заданного качества услуг QoS (и в первую очередь максимально допустимого времени задержки и гарантированной пропускной способности для всего соединения). Однако этот метод требует применения элементов технологии ATM в оборудовании пользователя, что увеличивает цену последнего и сложность организации широкополосных услуг, поскольку интерфейсные карты ATM достаточно сложны и дороги.

Однако даже при наличии такой совместимости требуются еще дополнительные драйверы конфигурирова-

ния. Кроме того, для полного использования преимуществ архитектуры PPPoA необходимы коммутируемые виртуальные каналы SVCs, которые пока еще не получили широкого распространения на сети. И, наконец, программное обеспечение PPPoA предусмотрено далеко не для всех платформ: оно не поддерживается домашними LAN, а также кабельным и беспроводным доступом.

3.2) PPPoE. Основное достоинство метода PPPoE заключается в использовании двух широко распространенных стандартизованных сетевых структур, которыми являются стек протоколов PPP и локальная сеть Ethernet, что требует минимальных изменений существующей инфраструктуры сети доступа (оборудования, операционных систем и т.д.) определяет минимальные затраты и минимальное время развертывания новых широкополосных сетевых услуг. Указанные факторы важны как для операторов связи и провайдеров сетевых услуг, так и для пользователей. Для последних особенно важно то, что процедура доступа к новым сетевым услугам остается для них практически той же, что и при прежнем доступе, например, к глобальной сети с помощью аналоговых модемов ТФОП.

Ключевым достоинством способа PPPoE является упрощение многопользовательской инсталляции линий доступа xDSL: протокол PPPoE идеально подходит для абонентов, представляющих собой локальные сети, а также для малых и домашних офисов. Совместно используемая несколькими пользователями сеть Ethernet при способе PPPoE очень похожа на одновременный доступ нескольких индивидуальных пользователей коммутируемой ТФОП к услугам Интернет с помощью аналоговых модемов (рис. 6.13).

При способе PPPoE (рис. 6.13) для организации одновременного широкополосного доступа нескольких пользователей локальной сети Ethernet принципиально достаточно одного постоянного виртуального канала PVC. Для сравнения на рисунке 6.14 представлена тра-

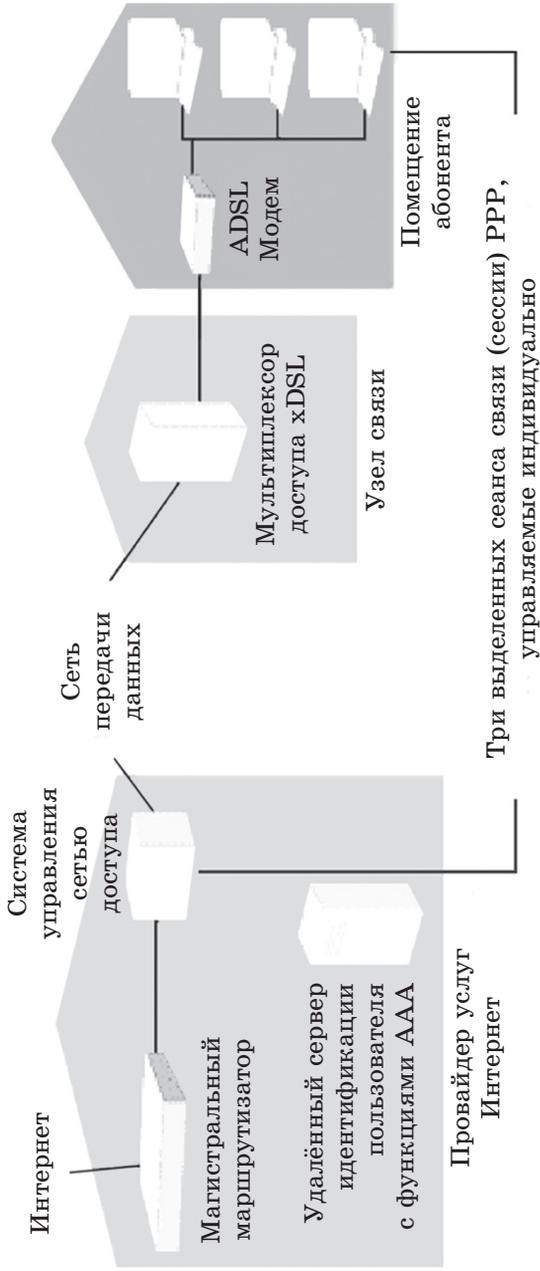


Рис. 6.13. Аналогия метода РРРоЕ с одновременным доступом нескольких пользователей аналоговых модемов

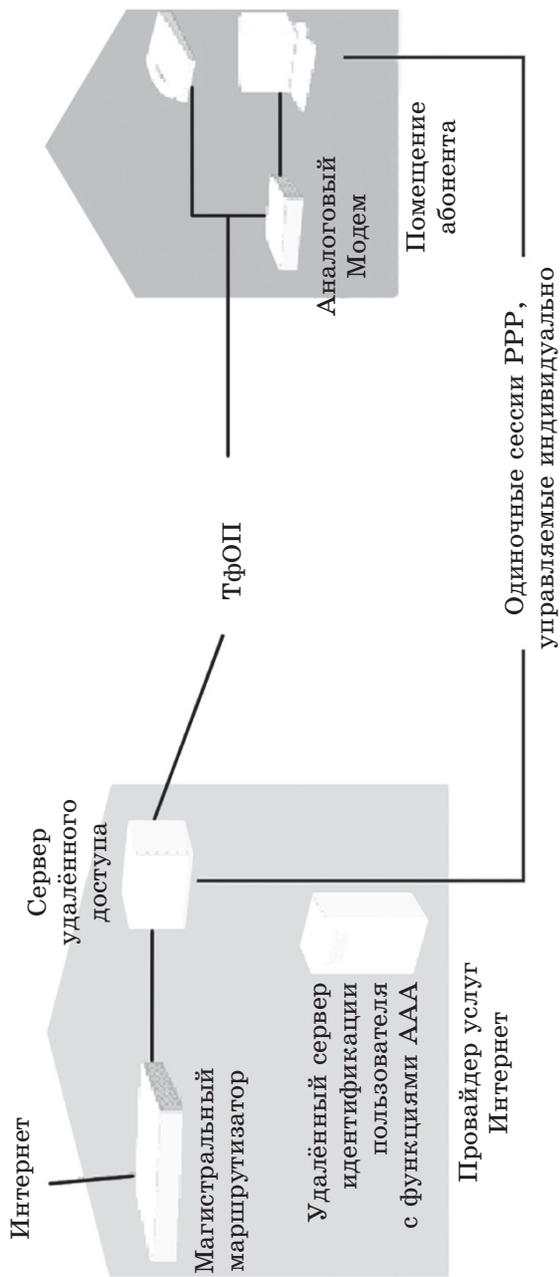


Рис. 6.14. Аналогия метода RRRoE с одновременным доступом нескольких пользователей аналоговых модемов

диционная инфраструктура передачи данных с использованием аналоговых модемов ТФОП.

Сравнение рисунка 6.13 и рис. 6.14 показывает ограниченность необходимых изменений сети доступа при переходе от традиционного доступа (см. рис. 6.15) к широкополосному с использованием метода PPPoE, который обеспечивает управление доступом и функции выставления счета за предоставленные услуги связи способом, используемым в стеке протокола PPP для коммутируемых соединений ТФОП и ISDN. Причем управление доступом, выбор типа услуги и функции биллинга выполняются для каждого пользователя, а не объекта в целом.

По сравнению с PPPoA, инфраструктура PPPoE проста: после установления соединения циклы PPP транспортируются внутри циклов Ethernet вместе со специальным служебным заголовком, обеспечивающим мультиплексирование сеансов связи.

Важно также отметить, что метод PPPoE не зависит от типа технологии доступа. Хотя выше упоминались лишь технологии доступа типа xDSL, способ PPPoE с таким же успехом применим к таким методам доступа, как кабельные модемы, системы беспроводного доступа и комбинированные медно-оптические системы типа FTTC («Оптическое волокно до шкафа») и др.

У метода PPPoE есть еще одно полезное свойство, которое предоставляет конечным пользователям функцию дополнительного выбора услуги. Она позволяет конечным пользователям изменять адресат сети по требованию (точно так же, как это можно делать в случае доступа с помощью традиционных аналоговых модемов) и даже иметь множество сеансов связи разными сетями связи одновременно из одного помещения через единственную линию доступа xDSL (рис. 6.15).

Следует особо обратить внимание на то, что опираясь на способ PPPoE и систему динамического выбора услуги и используя систему управления абонентским доступом, можно практически обеспечить в одной сети

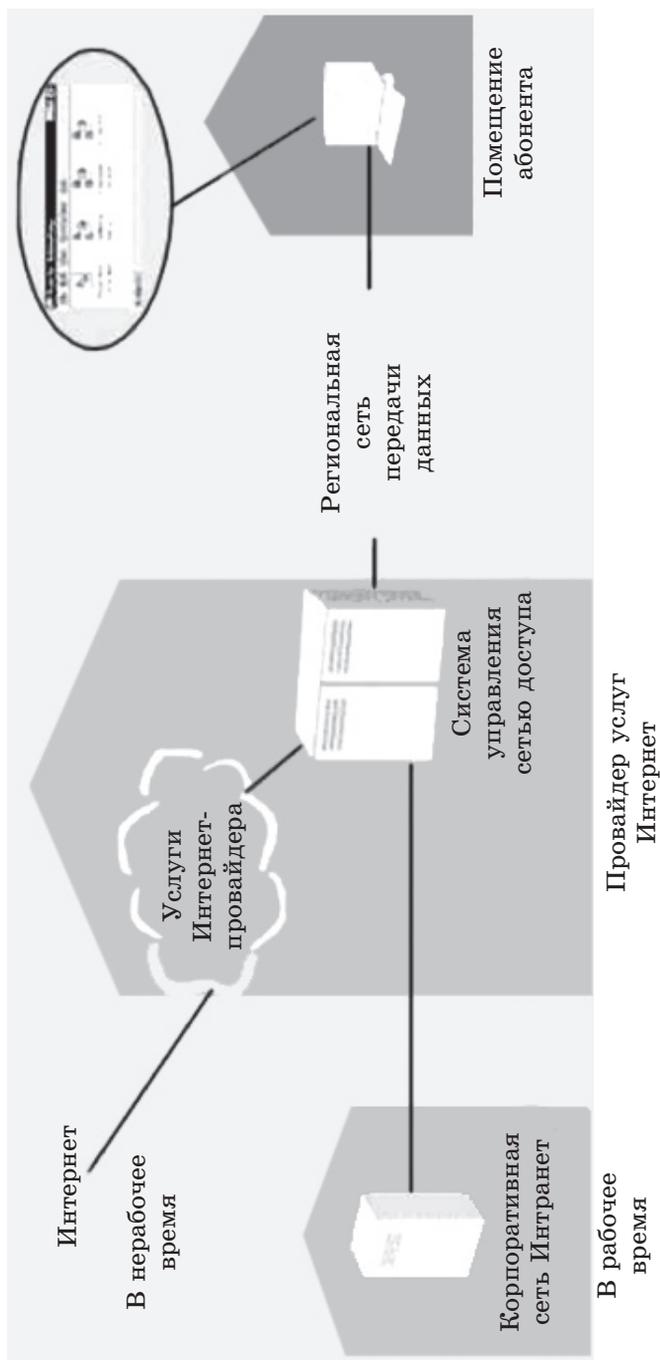


Рис. 6.15. Динамический выбор услуги с помощью метода RRРоЕ

доступа лучшие свойства выделенной и коммутируемой линий – высокую пропускную способность и «выделенность» соединения первой с гибкостью и низкой платой за услуги второй.

Однако протокол PPPoE не универсален и занимает лишь свою нишу во всем многообразии структур широкополосного доступа: будучи превосходным решением для малых локальных сетей типа Ethernet, он не может быть признан удовлетворительным, например, для сетей больших комплексов административных, университетских зданий и др., больших удаленных офисов и мультипротокольных сетей, требования которых к услугам широкополосного доступа очень многообразны.

Метод PPPoE требует также применения стороннего клиентского программного обеспечения. Этот недостаток является одновременно и сильной стороной этого метода, поскольку позволяет провайдерам услуг связи управлять предоставляемыми услугами и защищать их.

6.6. Мультисервисные сети

Одной из основных задач программы ускоренного развития услуг в сфере информационно-коммуникационных технологий до 2017 года является развитие национальной информационно-коммуникационной инфраструктуры, обеспечивающей опережающее удовлетворение растущих информационных потребностей граждан, бизнеса и государства, а также создание благоприятной среды для оказания электронных услуг и информационного взаимодействия всех участников информационного обмена.

В настоящее время происходят значительные изменения требований, предъявляемых к средствам электросвязи. Структура трафика меняется от передачи речевой информации к преобладающей доле передачи данных. Это вызывает необходимость принципиаль-

ных изменений коммутационной техники – переходу от коммутации каналов к пакетной коммутации.

Наиболее перспективным направлением развития сетей следующего поколения для республики является внедрение платформы IMS (IPMultimediaSubsystem) – стандартной архитектуры сетей для оказания мультимедийных услуг по проводным и беспроводным сетям.

Концепция IMS (см. рис. 6.16) – это решение для предоставления услуг в сетях, основанных на протоколе IP, вне зависимости от того, использует абонент мобильный широкополосный или стационарный широкополосный доступ. Независимость от технологии абонентского доступа достигается в концепции IMS благодаря разделению архитектуры сети на горизонтальные уровни: уровень услуг и приложений, уровень управления, транспортный уровень.

Мультимедийные услуги предполагают интеграцию трафика разнородных данных и речи, доставку услуг на транспортном уровне, что, в свою очередь, позволит снизить издержки на создание и эксплуатацию сетей, обеспечить качественное предоставление традиционных и современных услуг связи (широкополосный доступ в сеть Интернет, VPN, IPTV и другие) при снижении эксплуатационных расходов.

На базе платформы IMS/NGN, помимо услуг, аналогичных существующим, абонентам будут предложены новые сервисы, такие как услуги RBT («ринг-бэк-тон»), услуги конференц-связи, услуги единого электронного номера (eSpace), видеозвонок.

Строительство единой мультисервисной сети на базе архитектуры IMS позволит привести все имеющиеся сети к единому типу и стандарту, создав однородную среду предоставления широкого спектра мультисервисных услуг и основу для дальнейшей конвергенции услуг (рис. 6.17).

Создание сети передачи данных с использованием технологии Metro-Ethernet показано на рисунке 6.18.

Архитектура IMS

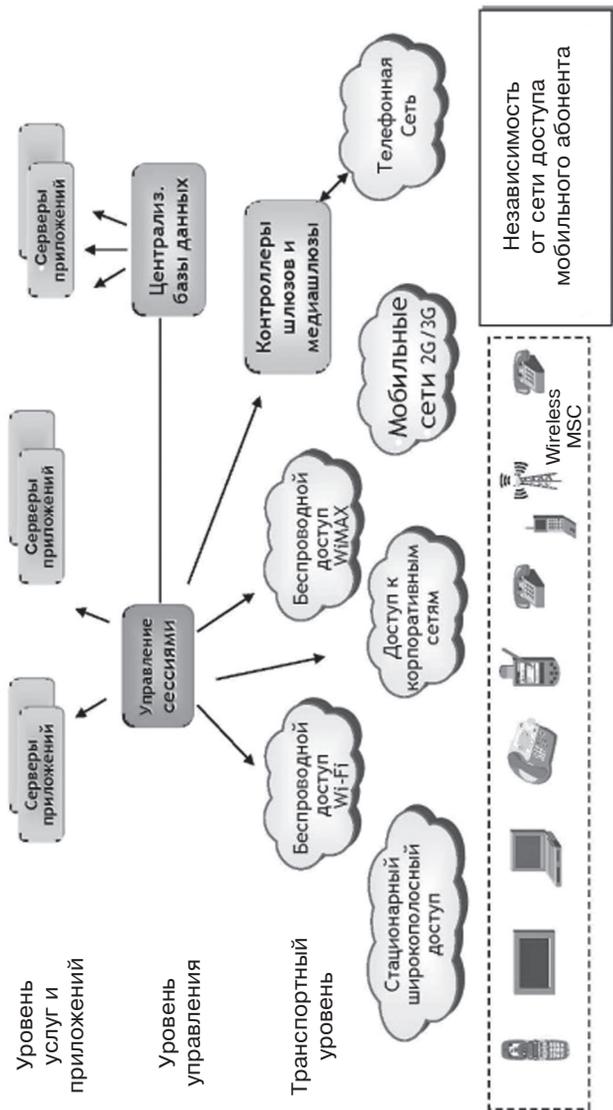


Рис. 6.16. Архитектура IMS

Услуги RBT («ринг-бэк-тон»)



Видеозвонок



Услуги
конференц-связи



Услуги единого электронного
номера (eSpace)



Рис. 6.17. Развитие услуг: новые услуги на базе IMS-платформы

Мероприятия по переходу к сетям нового поколения имеют два направления:

во-первых – развитие местных сетей электросвязи с подключением к узлам доступа сети передачи данных для удовлетворения спроса на мультимедийные услуги;

во-вторых – поэтапная модернизация существующей сети электросвязи, путем замены коммутационного оборудования координатного типа на узлы доступа к сети передачи данных, с включением абонентов в систему IMS.

Проект по модернизации и развитию сети стационарного широкополосного доступа к сети Интернет планируется реализовать путем строительства ВОЛС непосредственно до потребителя и внедрением технологии пассивных оптических сетей (xPON) и Ethernet-технологий с установкой Ethernet-коммутаторов.

Реализация проекта по строительству мультисервисной сети с использованием в качестве транспорта технологий PON позволит предложить абонентам стационарного доступа:

- комплекс современных услуг телефонной связи, делающих общение максимально удобным и комфортным;
- высокую скорость передачи данных (до 100 Мбит/с на абонента);
- стабильное качество услуг.

6.7. NGN-сети следующего поколения

Основные принципы сетей следующего поколения NGN

Термин «сети следующего поколения» NGN (Next Generation Networks) появился в телекоммуникационной литературе в начале нового тысячелетия. Идею разработки NGN, предложенную в 2001 г. Европейским институтом стандартов электросвязи ETSI (European Telecommunications Standards Institute), поддержал

Сектор стандартизации телекоммуникаций Международного союза электросвязи (ITU-T).

Основными объективными предпосылками возникновения идеи сетей следующего поколения NGN являются:

- успехи пакетных технологий передачи информации, обусловившие бурный рост цифрового трафика, прежде всего за счет расширения использования Интернет;

- увеличение спроса на подвижную связь и на новые мультимедийные службы Triple Play (совместной передачи голоса, видео, данных);

- конвергенция (взаимопроникновение) сетей электросвязи и информационно-вычислительных сетей, развитие инфокоммуникационных сетей.

Следует особо отметить одну из основных причин появления идеи NGN – завершение жизненного цикла эксплуатируемых цифровых коммутационных станций телефонной сети и желание не заменять их такими же станциями, а радикально модернизировать сеть с целью предоставления всего комплекса услуг Triple Play. Таким образом, технология NGN является новым способом развития и модернизации существующих сетей связи и, в первую очередь, телефонных сетей связи общего пользования.

Согласно определению, приведенному в Рекомендации ITU-T Y.2001, сеть следующего поколения (NGN) – это сеть с пакетной коммутацией, способная обеспечить пользователей разнообразными узкополосными и широкополосными услугами, включая услуги телефонной связи, основанная на широкополосной сети с пакетной технологией транспортировки, обеспечивающей необходимое качество услуг QoS (Quality of Service), в которой функции, связанные с предоставлением услуг, не зависят от технологий транспортировки информации. Сеть NGN дает пользователям неограниченный доступ к различным услугам провайдеров и поддерживает обобщенную мобильность, которая позволяет поль-

зователям получить доступ к услугам в любом месте и в любое время.

В рекомендации ITU-T Y.2012 перечислены основные принципы функциональной архитектуры NGN:

1) Поддержка множества технологий доступа – функциональная архитектура NGN должна обладать гибкой конфигурацией, необходимой для поддержки множества технологий доступа.

2) Распределенное управление – должен использоваться принцип распределенной обработки в пакетных сетях и поддерживаться прозрачность местоположения для распределенных вычислений.

3) Открытое управление – сетевые интерфейсы управления должны быть открыты для поддержки процессов создания новых и изменения существующих услуг и поддержки средств обеспечения логики услуг сторонних поставщиков.

4) Независимость предоставления услуг – процесс предоставления услуг должен быть разделен между функциями транспортной сети, работающей с использованием указанного выше механизма распределенного открытого управления. Это приведет к поддержке конкурентного окружения при развитии NGN, которое будет способствовать ускорению процессов внедрения новых услуг.

5) Поддержка услуг конвергентных сетей – необходима для создания гибких, простых в использовании мультимедийных услуг для замещения технических возможностей конвергентных фиксировано-мобильных сетей с помощью функциональной архитектуры NGN.

6) Расширенные возможности безопасности и защиты – это базовый принцип открытой архитектуры, он требует обязательной защиты сетевой инфраструктуры с помощью механизмов обеспечения соответствующих уровней безопасности и живучести сети.

Для реализации этих функций в Рекомендации ITU-T Y.2011 предложена базовая эталонная модель NGN, включающая два уровня: уровень услуг NGN

(service stratum) и уровень транспорта NGN (transport stratum), каждый из которых содержит по три плоскости: пользователя, управления и менеджмента (рис. 6.19).

Функциональность уровней базовой эталонной модели NGN раскрывается в общей функциональной архитектуре NGN первой версии (NGNrelease 1), приведенной в Рекомендации МСЭ-Т Y.2012 (рис. 6.20). На каждом из уровней используется несколько функций. Так, для предоставления услуг/приложений конечным пользователям используются функции поддержки приложений и функции поддержки услуг и соответствующие управляющие функции. NGN поддерживает точку сопряжения с функциональной группой приложений, называемую интерфейсом приложений сети ANI (Application Network Interface), который реализует канал взаимодействия и обмена информацией между приложениями и элементами сети NGN. ANI обеспечивает возможности и ресурсы, необходимые для реализации приложений.

Транспортный уровень обеспечивает услуги IP-соединений для пользователей сети NGN с помощью функций управления транспортом, включая функции

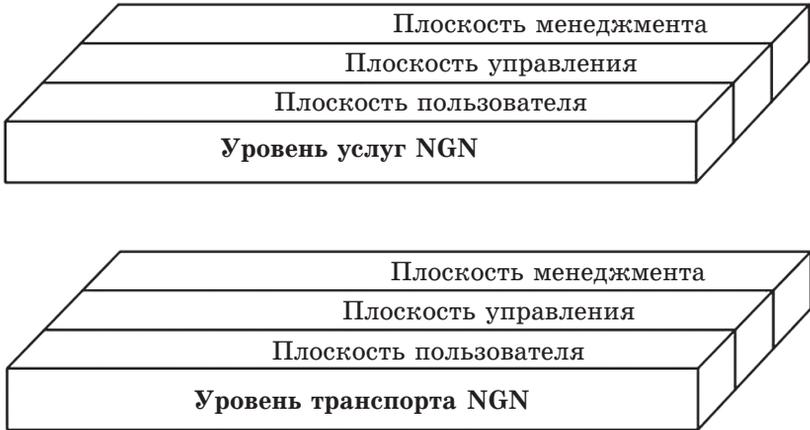


Рис. 6.19. Базовая эталонная модель NGN

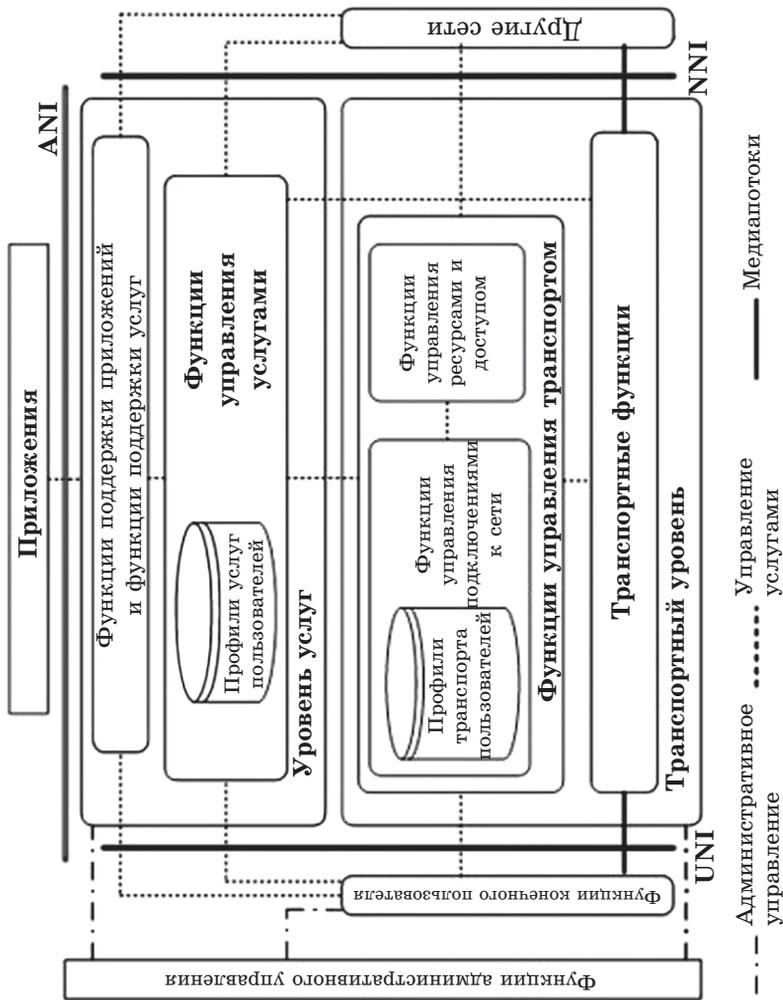


Рис. 6.20. Общая функциональная структура NGN

управления сетевыми подключениями NACFs (Network Attachment Control Functions) и функции управления ресурсами и доступом RACFs (Resource and Admission Control Functions).

В соответствии с Рекомендацией ITU-T Y.2011 функции транспортного уровня включают непосредственно транспортные функции и функции управления транспортом.

Транспортные функции (transport functions) обеспечивают соединение всех компонент и физически разделенных функций внутри NGN. Эти функции поддерживают передачу медиаинформации, а также информации управления (сигнализации) и технического обслуживания. Транспортные функции включают функции сети доступа, пограничные функции, функции транспортного ядра (магистралей) и функции шлюзов.

Функции сети доступа (access network functions) обеспечивают подключение конечных пользователей к сети, а также сбор и агрегацию трафика, поступающего из сети доступа в транспортную магистраль (ядро). Эти функции также реализуют механизмы управления качеством обслуживания QoS, связанные непосредственно с пользовательским трафиком, включая управление буферами, очередями и расписаниями, пакетную фильтрацию, классификацию трафика, маркировку трафика, определение политик обслуживания и формирование профиля передачи трафика.

Функции сети доступа зависят от используемой технологии доступа, например, они различаются для беспроводной технологии CDMA и проводной технологии доступа xDSL. В зависимости от технологии, используемой для доступа к услугам NGN, сеть доступа включает функции, связанные с:

- 1) кабельным доступом;
- 2) доступом по технологиям xDSL;
- 3) беспроводным доступом (например, технологии IEEE 802.11 (Wi-Fi) и 802.16 (WiMAX) и доступ 3G RAN);

4) оптическим доступом.

Пограничные функции (edge functions) используются для обработки трафика, который получается путем агрегирования трафика, поступающего из различных сетей доступа и передается в магистральную транспортную сеть, они включают функции, связанные с поддержкой качества обслуживания QoS и управления трафиком. Пограничные функции используются также между магистральными транспортными сетями.

Магистральные транспортные функции (core transport functions) отвечают за гарантированную передачу информации через транспортную сеть с различным уровнем качества. Они обеспечивают механизмы реализации заданного уровня качества передачи QoS для пользовательского трафика, включая управление буферами, очередями и расписанием, фильтрацию пакетов, классификацию, маркирование и формирование трафика, контроль соблюдения правил обслуживания, управление шлюзами и функции межсетевых экранов.

Функции шлюзов (gateway functions) обеспечивают возможности взаимодействия с функциями конечных пользователей и/или другими сетями, включая другие типы сетей NGN и множество существующих сетей, таких как ТфОП/ISDN, публичный Интернет и другие. Функции шлюзов могут управляться или непосредственно функциями уровня управления или через функции управления транспортной сетью.

Функции обработки медиаинформации (media handling functions) обеспечивают обработку медиаинформации при предоставлении услуг, таких как генерация тональных сигналов и перекодирование. Эти функции реализуются специальными ресурсами обработки медиаинформации на транспортном уровне.

Функции управления транспортной сетью (transport control functions) включают функции управления ресурсами и доступом и функции управления присоединением к сети.

Функции управления ресурсами и доступом RACFs (Resource and Admission Control Functions) действуют как арбитр между функциями управления услугами и транспортными функциями для поддержки QoS и связаны с управлением транспортными ресурсами в сети доступа и в магистральной транспортной сети. Решение по управлению основывается на информации о требуемом транспорте, соглашениях о заданном уровне обслуживания SLA, правилах сетевой политики, приоритетах услуг и информации о состоянии и использовании транспортных ресурсов. Функции RACF обеспечивают абстрактный подход к инфраструктуре транспортной сети для функций управления услугами SCFs (Service Control Functions) и обеспечивают сервис-провайдером независимость от сетевой топологии, связности, загрузки ресурсов, механизмов/технологий QoS и др. Функции RACF взаимодействуют с функциями SCF и транспортными функциями для различных приложений (например, SIP-вызовы, потоковое видео и др.), что требует управления транспортными ресурсами NGN, включая управление QoS, управление NAPT/firewall и прохождение трансляции сетевых адресов на уровне портов NAPT.

Функции управления подключением к сети NACFs (Network Attachment Control Functions) обеспечивают регистрацию на уровне доступа и инициализацию функций конечного пользователя для услуг доступа NGN. Эти функции обеспечивают транспортный уровень идентификацией/авторизацией, управляя пространством IP-адресов в сети доступа и аутентификации сессий доступа. Они также сообщают конечным пользователям о контактной точке к функциям NGN на уровне услуг. Функции NACF включают транспортный профиль пользователя, который хранится в виде функциональной базы данных, включающей пользовательскую информацию, а также другие данные управления.

Уровень услуг (service stratum) включает:

– функции управления услугами, включая функции профилей услуг пользователей;

– функции поддержки приложений и функции поддержки услуг.

Функции управления услугами (service control functions) включают управление ресурсами, функции регистрации, аутентификации и авторизации для различных услуг на уровне услуг. Они также могут включать функции управления медиаресурсами, такими как специализированные устройства и шлюзы на сигнальном уровне. Функции управления услугами поддерживают профили услуг пользователей, которые представляют собой комбинацию пользовательской информации и других данных управления, образующую индивидуальный профиль каждого пользователя и объединенные в функциональные базы данных.

Функции поддержки приложений и функции поддержки услуг (application support functions and service support functions) включают функции шлюзов, регистрации, аутентификации и авторизации на уровне приложений. Эти функции доступны функциональным группам «приложения» и «конечные пользователи». Они работают совместно с функциями управления услугами для обеспечения конечных пользователей и приложений требуемыми услугами NGN. Через интерфейс «пользователь – сеть» UNI функции поддержки приложений и функции поддержки услуг обеспечивают точку доступа к функциям конечных пользователей. Взаимодействие приложений с данными функциями осуществляется через точку доступа, реализуемую интерфейсом «приложение – сеть» ANI.

Функции конечных пользователей (end-user functions) не определяют никаких ограничений на пользовательские интерфейсы и сети конечных пользователей, которые могут быть соединены с сетью доступа NGN. Терминальные устройства пользователей услуг NGN могут быть любыми мобильными или стационарными устройствами.

Функции административного управления (management functions) обеспечивают возможность управлять

сетью NGN для предоставления услуг с заданным уровнем качества, безопасности и надежности. Эти функции распределяются децентрализованно по всем функциональным блокам (FE) и они взаимодействуют с функциональными блоками управления сетевыми элементами, управления сетью и управления услугами. Функции административного управления используются на транспортном уровне и уровне услуг и для каждого этого уровня они реализуют следующие задачи:

- управление процессом устранения отказов (Fault Management);
- управление конфигурацией сети (Configuration Management);
- управление расчетами с пользователями и поставщиками услуг (Accounting Management);
- контроль производительности сети (Performance Management);
- обеспечение безопасности работы сети (Security Management).

С целью более простого понимания принципов построения сетей следующего поколения в большинстве публикаций по NGN приводится обобщенная 4-уровневая архитектура NGN, в которой выделяются следующие уровни (рис. 6.21):

- уровень доступа, содержащий сеть абонентского доступа к транспортной пакетной сети;
- транспортный уровень, включающий магистральную пакетную сеть (сеть, построенную на базе протоколов пакетной коммутации IP или ATM, в настоящее время чаще всего на базе технологии MPLS и протокола IP);
- уровень управления коммутацией, включающий совокупность функций по управлению всеми процессами обслуживания вызовами в телекоммуникационной сети;
- уровень услуг и эксплуатационного управления, который содержит логику выполнения услуг и/или приложений и управляет этими услугами, имеет от-

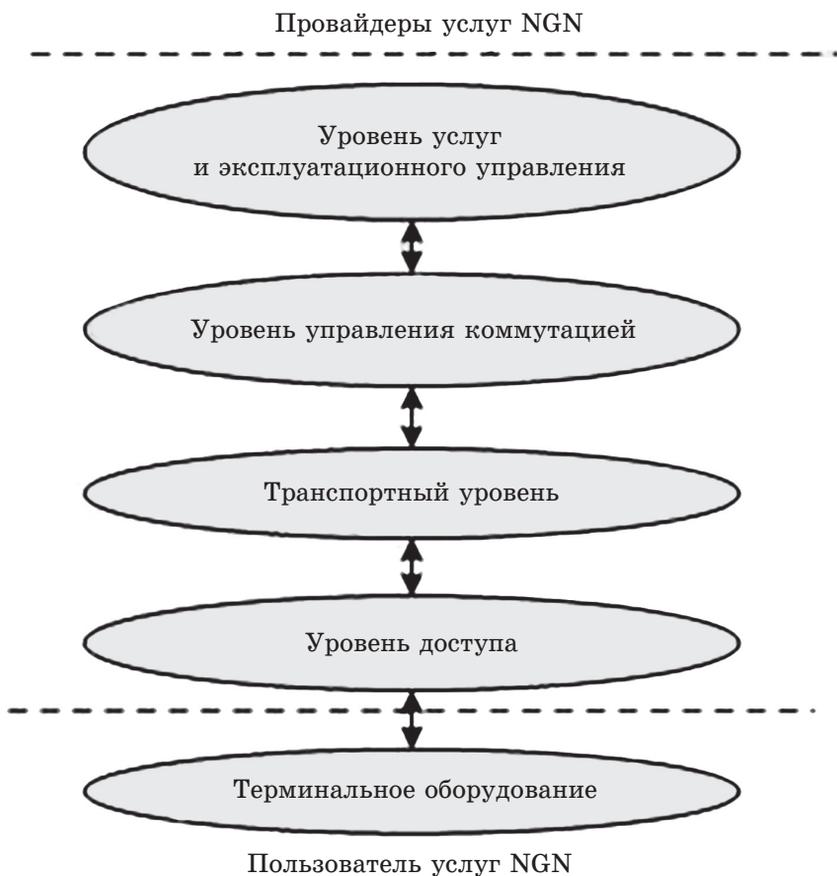


Рис. 6.21. Четырехуровневая модель NGN

крытые интерфейсы для использования сторонними организациями (для разработки программ и новых услуг).

Терминальное оборудование не входит в состав сети NGN и в принципе может быть любым из набора абонентского оборудования существующих проводных и беспроводных сетей. Однако такое терминальное оборудование может быть включено в сеть NGN только через согласующее шлюзовое абонентское оборудова-

ние уровня доступа. Непосредственное подключение к сети возможно только пакетных абонентских терминалов, работающих с использованием протоколов SIP и H.323.

Классификация оборудования NGN

В настоящее время выпускается обширный класс фирменных аппаратно-программных решений (платформ) для реализации сетей следующего поколения на базе гибких коммутаторов (softswitch). Эти мульти-сервисные платформы содержат разнообразное оборудование, которое можно классифицировать по выполняемым сетевым функциям. Большинство имеющихся подходов к классификации основывается на разделении оборудования NGN в соответствии с четырьмя уровнями (плоскостями) сетей следующего поколения: доступа, транспорта, управления вызовами и приложений (рис. 6.22).

Основным устройством, реализующим функции уровня управления коммутацией и передачей информации, указан программный коммутатор Softswitch. Кроме этого на данном уровне могут использоваться АТС с функциями контроллера шлюзов (MGC – Media Gateway Controller). В состав базовой сети, которой соответствует транспортный уровень NGN, могут входить:

- транзитные узлы, выполняющие функции переноса и коммутации;
- оконечные (граничные) узлы, обеспечивающие доступ абонентов к мультисервисной сети;
- контроллеры сигнализации, выполняющие функции обработки информации сигнализации, управления вызовами и соединениями;
- шлюзы, позволяющие осуществить подключение традиционных сетей электросвязи (ТфОП, СПД, СПС).

К уровню доступа NGN относятся:

- шлюзы;

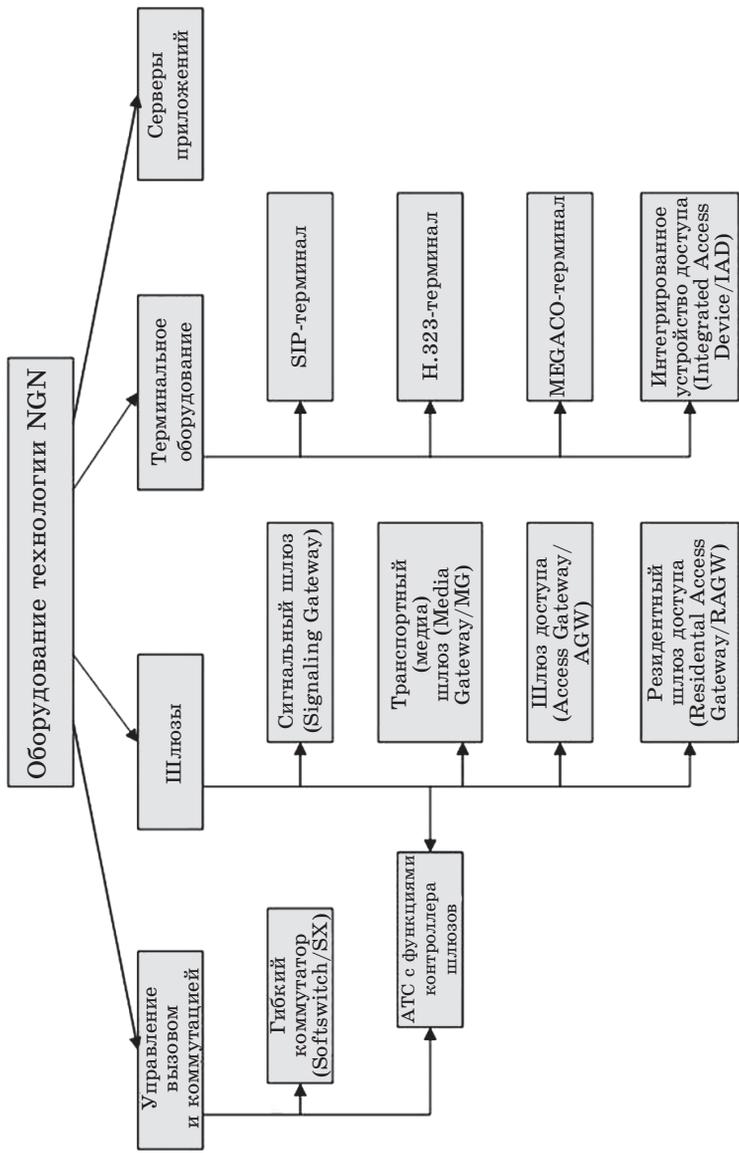


Рис. 6.22. Классификация типов оборудования NGN

– сеть доступа (сеть электросвязи, обеспечивающая подключение оконечных терминальных устройств пользователя к оконечному узлу транспортной сети);

– оконечное абонентское оборудование.

Выделены следующие программные и аппаратные конфигурации шлюзового оборудования :

– транспортный шлюз (Media Gateway (MG));

– сигнальные шлюзы (Signalling Gateway (SG));

– транкинговый шлюз (Trunking Gateway (TGW)) – совместная реализация функций MG и SG;

– шлюз доступа (Access Gateway (AGW)) – реализация функции MG и SG для оборудования доступа, подключаемого через интерфейс V5;

– резидентный шлюз доступа (Residential Access Gateway (RAGW)) – реализация функции подключения пользователей, использующих терминальное оборудование ТфОП/ЦСИС к мультисервисной сети.

Отмечено, что с развитием технологий электросвязи становится все проблематичней провести четкую грань между транспортным уровнем и уровнем доступа. Так, например, цифровой абонентский мультиплексор доступа (DSLAM) может быть отнесен и к тому, и к другому уровню.

Кроме двух основных типов терминальных устройств, предназначенных для работы в сетях NG-SIP-терминалы и H.323-терминалы, также иногда используется терминальное оборудование на основе протокола MEGACO. Еще одним видом терминального оборудования являются интегрированные устройства доступа (IAD).

Для выполнения функций уровня услуг и управления услугами предназначены различные серверы приложений (Application Servers) и серверы дополнительных услуг (Feature Servers). Кроме этого могут использоваться специализированные компоненты передачи пользовательской информации, например, медиасерверы, которые выполняют функции конференц-связи, IVR и т.п.

В Рекомендации МСЭ-Т Q.3900 «Methods of testing and model network architecture for NGN technical means testing as applied to public telecommunication networks» приведена несколько иная классификация технических средств, реализующих модель NGN, в которую включены следующие классы и виды средств (рис. 6.23):

1) Системы управления сессиями и вызовами:

– контроллер управления медиашлюзами MGC (Media Gateway Controller);

– прокси-сервер SIP PS (Proxy Server SIP); IP мультимедийная подсистема IMS (IP multimedia subsystem).

2) Системы передачи голосовой и сигнальной информации: – медиашлюз GW (Media Gateway);

– сигнальный шлюз SG (Signalling Gateway);

– среда транспортной сети TNE (Transport Network Environment).

3) Серверы приложений:

– сервер приложений AS (Application Server);

– медиасервер MDS (Media Server);

– сервер сообщений MeS (Messaging Server).

4) Системы эксплуатационной поддержки сети NGN:

– система управления сетью NGN NMS (NGN Management System);

– биллинговая система BS (Billing System).

5) Оборудование среды доступа:

– интегрированное устройство доступа к сети NGN NGN-IAD (NGN Integrated Access Devices);

– медиашлюз для традиционных терминальных устройств GW-LTE (Media Gateway for Legacy Terminal Equipment).

В Рекомендации МСЭ-Т Q.3900 указывается, что каждый из перечисленных видов технических средств NGN должен реализовывать в своем составе как обязательную долю функциональности, без которой невозможно выполнение основных функций системы, так и ряд дополнительных функций, предоставляющих пользователям различные специальные возможности. Реа-

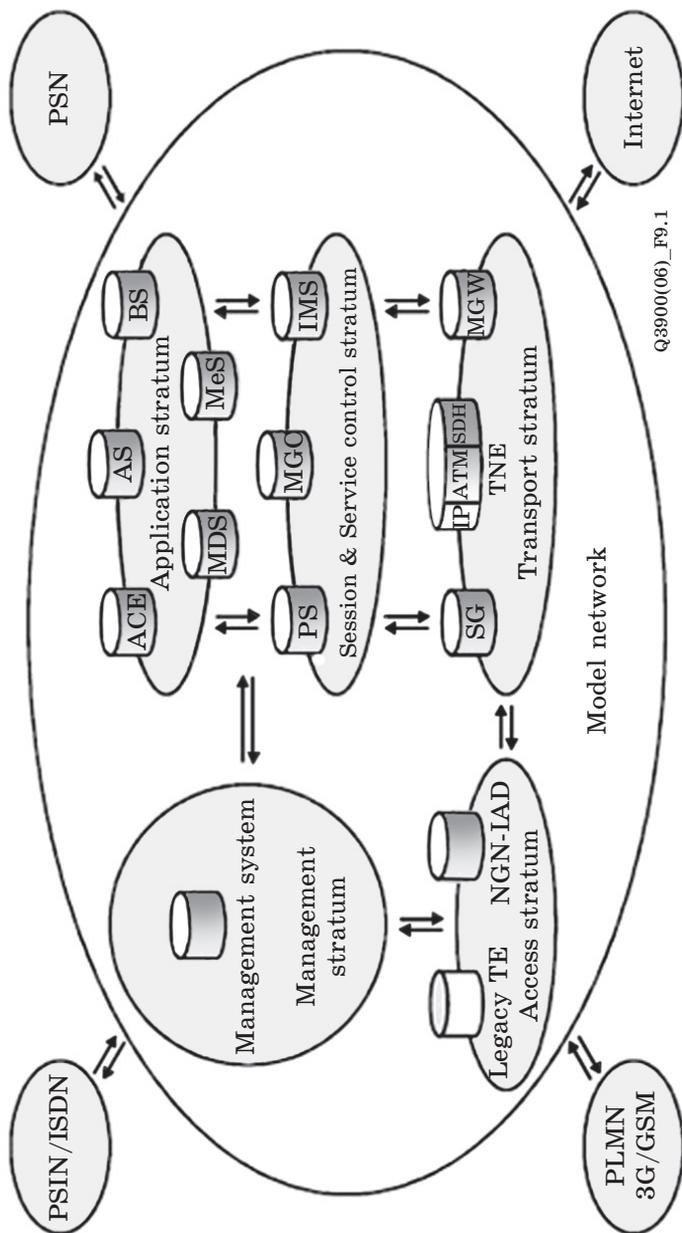


Рис. 6.23. Схема распределения оборудования по плоскостям NGN

лизуемая с помощью технических средств NGN функциональность может включать функции различных уровней (доступа, транспорта, управления и услуг). Например, наиболее распространенный вид комплексного решения – гибкий коммутатор (softswitch), кроме обязательного элемента – контроллера медиашлюзов, часто включает и другие виды оборудования (например, сигнальный шлюз, прокси-сервер SIP, сервер AAA, привратник H.323 и др.).

Сравнение приведенных выше систем классификации оборудования NGN между собой показывает, что все они включают такие базовые элементы, контроллеры медиашлюзов, сами шлюзы различных типов, платформы приложений, терминальное оборудование. Однако, ни в одной из них не учтен такой важный элемент многих платформ NGN, как пограничный контроллер сессий (сеансов) SBC (Session Border Controller), который можно отнести к уровню управления соединениями. В этих системах классификации отсутствуют также такие аппаратно-программные компоненты платформ NGN, как системы оперативно-розыскных мероприятий СОПМ (за рубежом их называют системами законного перехвата сообщений), межсетевые экраны, оптимизаторы полосы пропускания сессий и другие.

Оборудование гибких коммутаторов (softswitch)

Считается, что самый главный в концепции NGN термин «softswitch» (возможные переводы на русский – «гибкий коммутатор» или «программный коммутатор») был введен компанией Lucent Technologies в 1999 г. как название программно-аппаратного решения для управления вызовами в сетях ATM и IP.

Гибкий коммутатор является главным и обязательным компонентом в любой сети следующего поколения NGN первой версии. По своей сути softswitch – это вычислительное устройство с соответствующим программным обеспечением и высокой степенью доступности. Однако, несмотря на присутствие в на-

звании слова «коммутатор», оно в действительности не выполняет никаких коммутирующих функций. К softswitch перешли многие из задач управления соединениями, ранее выполнявшиеся его предшественником – привратником GK (GateKeeper) в сети стандарта H.323, который управлял всем оборудованием для обслуживания мультимедийных соединений в зоне своей ответственности. Управление вызовами в сети NGN в типичном случае включает маршрутизацию вызовов, аутентификацию пользователя, установление и разрыв соединения, сигнализацию и другие задачи. В качестве посредника гибкий коммутатор должен «понимать» как протоколы сигнализации в телефонных сетях, так и протоколы управления передачей информации в пакетных сетях. Гибкий коммутатор является основным устройством, реализующим функции уровня управления коммутацией в архитектуре сети NGN.

В оборудовании гибкого коммутатора должны быть реализованы следующие основные функции:

- функция управления базовым вызовом, обеспечивающая прием и обработку сигнальной информации, и реализацию действий по установлению соединения в пакетной сети;

- функция аутентификации и авторизации абонентов, подключаемых в пакетную сеть как непосредственно, так и с использованием оборудования доступа ТфОП;

- функция маршрутизации вызовов в пакетной сети;

- функция тарификации, сбора статистической информации;

- функция управления оборудованием транспортных шлюзов;

- функция предоставления дополнительных видов обслуживания (ДВО) – реализуется в оборудовании гибкого коммутатора или совместно с сервером приложений;

- функция эксплуатации, управления (администрирования), технического обслуживания и предоставления информации OAM&P (Operation, Administration, Maintenance and Provisioning).

Дополнительно в оборудовании гибкого коммутатора могут быть реализованы следующие функции:

- функция оконечного/транзитного пункта сигнализации SP/STP (Signaling Point / Signaling Transfer Point) сети ОКС №7;

- функция взаимодействия с серверами приложений;

- функция узла коммутации услуг SSP (Service Switching Point) интеллектуальной сети и др.

В категорию гибких коммутаторов попадают разные по функциональности решения, поскольку четкой классификации до сих пор нет. Так часть производителей, экспертов и операторов под используемым продуктом «softswitch» понимают контроллер медиашлюзов MGW (Media Gateway Controller) или устройство управления вызовами CA (Call Agent) или сервер вызовов CS (Call Server). Несмотря на все их различия, они выполняют главную функцию гибкого коммутатора: реализованное программным способом управление соединениями для передачи трафика пользователей в сети NGN, поступающего от шлюзов или непосредственно от пакетных абонентских устройств. С другой стороны, часто в состав фирменного решения гибкого коммутатора кроме контроллера/устройства управления/сервера входит и различное шлюзовое оборудование: медиашлюзы, сигнальные шлюзы, прокси-серверы SIP, серверы аутентификации, авторизации и учета AAA (Authentication, Authorization, Accounting) и др. Одна из возможных функциональных схем гибкого коммутатора приведена на рисунке 6.24.

Независимо от конкретной фирменной реализации любой гибкий коммутатор должен предоставлять базовую часть функциональности при управлении сеансами связи, включающей в том числе: осуществление

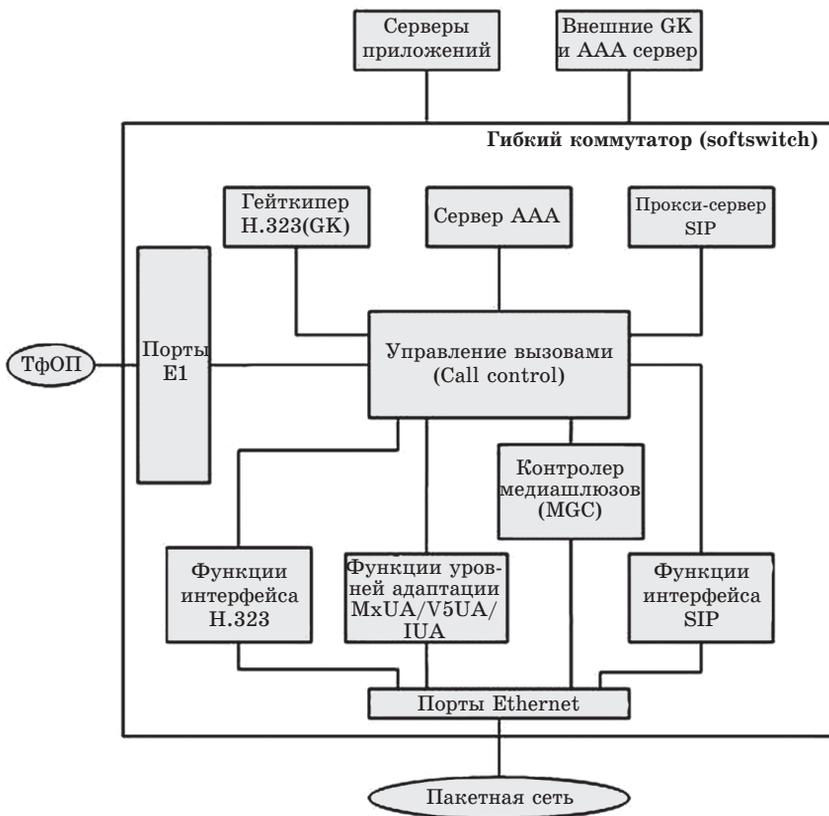


Рис. 6.24. Функциональная схема гибкого коммутатора

управления медиашлюзами посредством протоколов сигнализации, передачу таблиц маршрутизации, преобразование систем нумерации между различными номерными планами и т.д.

Основными техническими характеристиками оборудования гибкого коммутатора являются:

1) *Производительность.*

Производительность определяется количеством вызовов, обслуживаемых гибким коммутатором в час наибольшей нагрузки (ЧНН) или за 1 секунду или одновременно. Производительность оборудования гибкого коммутатора различна при обслуживании вызовов от различных источников, что объясняется как различ-

ным объемом и характером поступления сигнальной информации от разных источников, так и заложенными алгоритмами обработки сигнальной информации.

Гибкий коммутатор может обслуживать вызовы от следующих источников нагрузки:

- пакетных терминалов, предназначенных для работы в сетях NGN (терминалы SIP и H.323, а также IP-УПАТС);

- терминалов, не предназначенных для работы в сетях NGN (аналоговые и ISDN-терминалы) и подключаемых через оборудование резидентных шлюзов доступа;

- оборудования сети доступа, не предназначенного для работы в сетях NGN (концентраторы с интерфейсом V5) и подключаемого через оборудование шлюзов доступа;

- оборудования, использующего первичный доступ (УПАТС) и подключаемого через оборудование шлюзов доступа;

- сети ТфОП, обслуживаемые с использованием сигнализации ОКС №7 с включением сигнальных звеньев ОКС №7 либо непосредственно в гибкий коммутатор (если коммутатор реализует функции сигнального шлюза), либо через оборудование сигнальных шлюзов;

- других гибких коммутаторов, обслуживаемых с использованием сигнализации SIP-T и SIP-I.

2) Надежность.

Требования по надежности к оборудованию гибкого коммутатора характеризуются средней наработкой на отказ, средним временем восстановления, коэффициентом готовности, сроком службы.

3) Поддерживаемые протоколы.

Оборудование гибкого коммутатора может поддерживать следующие виды протоколов:

3.1) При взаимодействии с существующими фрагментами сети ТфОП:

- непосредственное взаимодействие: сигнальный протокол ОКС №7 с подсистемами MTP, ISUP и SCCP;

– взаимодействие через сигнальные шлюзы: сигнальный протокол SIGTRAN с уровнями адаптации: M2UA, M3UA, M2PA, SUA – для передачи сигнализации ОКС №7 через пакетную сеть, V5UA – для передачи сигнальной информации интерфейса V5 через пакетную сеть, IUA – для передачи сигнальной информации DSS1 первичного доступа ISDN через пакетную сеть;

– сигнальный протокол MEGACO/H.248 для передачи информации, поступающей по системам сигнализации по выделенным сигнальным каналам (2ВСК).

3.2) При взаимодействии с терминальным оборудованием:

– непосредственное взаимодействие с терминальным оборудованием пакетных сетей: протоколы SIP и H.323;

– взаимодействие с оборудованием шлюзов, обеспечивающим подключение терминального оборудования ТФОП: сигнальный протокол MEGACO/H.248 – для передачи сигнальной информации по аналоговым абонентским линиям; сигнальный протокол SIGTRAN с уровнем адаптации IUA для передачи сигнальной информации DSS1 базового доступа ISDN.

3.3) При взаимодействии с другими гибкими коммутаторами: протоколы SIP-T и SIP-I.

3.4) При взаимодействии с оборудованием интеллектуальных платформ (SCP): сигнальный протокол ОКС №7 с прикладным протоколом INAP.

3.5) При взаимодействии с серверами приложений: в настоящее время взаимодействие с серверами приложений, как правило, базируется на внутрифирменных протоколах, в основе которых лежат технологии JAVA, XML, SIP и др.

3.6) При взаимодействии с оборудованием транспортных шлюзов:

– для шлюзов, поддерживающих транспорт IP или IP/ATM: протоколы H.248, MGCP, IPDC и др.;

– для шлюзов, поддерживающих транспорт ATM: протокол ВСС.

4) Поддерживаемые интерфейсы.

Оборудование гибкого коммутатора поддерживает следующие виды интерфейсов:

- интерфейс E1 (2048 кбит/с) для подключения звеньев сигнализации ОКС №7, включаемых непосредственно в гибкий коммутатор;
- интерфейсы семейства Ethernet для подключения гибкого коммутатора к пакетной сети;
- открытые интерфейсы взаимодействия с внешними платформами приложений: JAIN, PARLAY.

Конструктивно гибкий коммутатор может быть реализован в виде отдельного устройства, выполняющего совместно функции управления вызовами и коммутатора (switching fabric). Часто производители softswitch разделяют его на два и более устройств – контроллер шлюзов, сигнальный шлюз SG (Signalling Gateway) и медиашлюз MGW.

Как правило, большинство выпускаемых гибких коммутаторов имеют модульную архитектуру построения, что обеспечивает высокую масштабируемость системы и позволяет создавать географически распределенные сети, гибко управлять потоками сигнального и медиа-трафика, а также осуществлять резервирование системы. Так, для обеспечения надежности работы гибкого коммутатора обычно предусматривается возможность установки резервных модулей, реализации механизмов динамического распределения лицензий и балансировки нагрузки. Поэтому в случае аппаратного сбоя одного из компонентов системы его функции передаются другому компоненту в рамках выбранной схемы резервирования. Каждый модуль гибкого коммутатора может быть зарезервирован самостоятельно или в комплексе с другими, причем для критичных модулей предусмотрено применение многократного резервирования, в том числе географического. Выбор схемы резервирования зависит от структуры конкретной сети и потребностей оператора.

Все гибкие коммутаторы (softswitch) в зависимости от выполняемых сетевых функций подразделяются на

два класса: класс 4 и класс 5. Такое деление взято по аналогии с исторически сложившейся классификацией узлов коммутации на телефонных сетях связи Северной Америки. На этих сетях транзитные узлы коммутации без прямого подключения абонентских линий (типа международных и междугородных телефонных станций и транзитных узлов коммутации на местных сетях) относятся к узлам класса 4. А все конечные узлы с абонентским подключением принадлежат к классу 5.

Исходя из данного подхода гибкий коммутатор класса 4 предназначен для организации транзитного узла управления соединениями в операторских сетях с пакетной коммутацией. Он осуществляет маршрутизацию и распределение вызовов в IP-сетях на магистральном (междугородном/международном/местном) уровне, обеспечивая тем самым транзит трафика, получаемого сегментом сети с абонентским подключением.

Фундаментальным отличием гибких коммутаторов 5 класса является возможность работы непосредственно с конечными абонентами сети и предоставление им как основных телефонных и мультимедийных услуг, так и дополнительных видов обслуживания (ДВО), таких как интеллектуальная маршрутизация вызовов в зависимости от доступности абонента, ожидание вызова, удержание и перевод вызовов, трехсторонние конференции, парковка и перехваты вызовов, многолинейные группы абонентов и т.д.

Шлюзовое оборудование NGN

Шлюзы (Gateways) – устройства доступа к сети NGN и сопряжения ее с существующими сетями. Оборудование шлюзов реализует функции по преобразованию сигнальной информации сетей с коммутацией пакетов в сигнальную информацию пакетных сетей, а также функции по преобразованию информации транспортных каналов в пакеты IP/ячейки АТМ и маршрутизации пакетов IP/ячеек АТМ. Шлюзы функционируют

на транспортном уровне NGN, хотя их можно отнести и к сетям доступа. Для реализации возможности подключения к сети NGN различных видов оборудования ТфОП в телекоммуникационных платформах NGN используются различные программные и аппаратные конфигурации шлюзового оборудования:

– медиа (транспортный) шлюз MG (Media Gateway) – реализует функций преобразования речевой информации из формата TDM в пакеты IP/ячейки ATM и маршрутизации пакетов IP/ячеек ATM;

– сигнальный шлюз SG (Signalling Gateway) – реализует функции преобразования систем межстанционной сигнализации сети ОКС №7 (квасисвязанный режим) в систему сигнализации пакетной сети SIGTRAN с соответствующим протоколом уровня адаптации пользователей подсистемы;

– транкинговый (транзитный) шлюз TGW (Trunking Gateway) – совместная реализация функций шлюзов MG и SG;

– шлюз доступа AGW (Access Gateway) – реализация функции MG и SG для оборудования доступа (чаще всего УПАТС или абонентские модули/концентраторы сетей TDM), подключаемого через интерфейсы E1 или V 5.x;

– резидентный шлюз доступа RAGW (Residential Access Gateway) – реализует функции подключения пользователей, использующих терминальное оборудование ТфОП/ЦСИС к сети NGN.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие виды технологии сети абонентского доступа вы знаете?
2. Что такое цифровая абонентская линия ISDN?
3. Каковы характеристики ADSL?
4. Какие способы абонентского доступа через линию электропередачи вы знаете?
5. Расскажите о мультисервисных сетях.
6. Каковы функциональные возможности softswitch?

7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ

7.1. Основные понятия оптической связи.

Оптическая связь и волоконно-оптические системы

Оптическая связь (ОС) – это связь, в которой информация передается в виде световых лучей по оптическому волокну или по открытому пространству, по атмосфере. Если информация передается по волокну, она называется *системой волоконно-оптической связи* (ВОС), если передается по открытому пространству, по атмосфере, называется *системой открытой оптической связи* (ООС).

Среда систем ООС, по которым передается информация, делится на три типа: среды атмосферной, космической и подводной связи.

Основным направлением ОС является система ВОС, так как в данный момент произведены и функционируют волноводы с наилучшими передающими характеристиками.

Для того чтобы обеспечивать путь распространения электромагнитного излучения, в системах ВОС используются специальные оптические волноводы – оптические волокна.

Сеть ВОС – это сеть связи, в которой узлы соединены линиями оптической связи.

Достоинства, недостатки и области применения волоконно-оптических систем (ВОС)

Передача информации по линиям ВОС имеет целый ряд достоинств перед передачей по медному кабелю, благодаря чему системы ВОС широко применяются не только для организации телефонной связи, но для

передачи сигналов телевидения, радиовещания, вычислительной техники, на транспортных средствах и в других областях.

Достоинства:

1) *Широкая полоса пропускания.* Это обусловлено чрезвычайно высокой частотой, несущей 1014–1015 Гц. Это дает потенциальную возможность передачи по одному оптическому волокну потока информации в несколько терабит в секунду. Большая полоса пропускания – это одно из наиболее важных преимуществ оптического волокна над медной или любой другой средой передачи информации.

2) *Малое затухание светового сигнала в волокне.* Оптическое волокно, выпускаемое в настоящее время многими компаниями, имеет затухание 0,2–0,3 дБ/км на длине 1,55 мкм в расчете на один километр. Малое затухание и небольшая дисперсия позволяет передачу оптических сигналов по линиям ВОС без ретрансляции на 100 км и более расстояний.

3) *Малый уровень шума* увеличивает полосу пропускания оптического волокна.

4) *Высокий уровень помехозащищенности.* Поскольку оптическое волокно изготовлено из диэлектрических материалов – кварца, многокомпонентного стекла, полимеров. Оно невосприимчиво к электромагнитным помехам со стороны окружающих медных кабельных систем и электрического оборудования, способного индуцировать электромагнитное излучение (линии электропередачи, электродвигательные установки и т.д.). А также в многоволоконных кабелях не возникает проблемы перекрестного влияния электромагнитного излучения, присущей многопарным медным кабелям.

Благодаря этим достоинствам оптический кабель используется на промышленных предприятиях, в центрах управления, на транспортных средствах – самолетах и кораблях, так как в таких относительно небольших пространствах приходится размещать и энергетические установки, и системы автоматики и телеуправления,

и разветвленную сеть связи с многочисленными абонентскими устройствами. В таком случае возникают электромагнитные и взаимные помехи. А о невосприимчивости оптического кабеля к таким помехам мы уже сказали.

5) *Малый вес, объем и размер.* Волоконно-оптические кабели имеют меньший вес и объем по сравнению с медными кабелями. Например, 900-парный телефонный кабель диаметром 7,5 см может быть заменен одним волокном с диаметром 0,1 см. Если волокно имеет множество защитных оболочек и покрыт стальной ленточной броней, диаметр такого ВОК будет 1,5 см, что в несколько раз меньше рассматриваемого телефонного кабеля.

Это достоинство оптического кабеля упрощает строительство линейного тракта с его использованием. Использование оптического волокна на самолетах, вертолетах и на других транспортных средствах – очень важное преимущество волоконно-оптической связи. Например: на самолетах, специально оборудованных для выполнения задач сбора информации и управления, удастся уменьшить массу соединительных кабелей более чем на 1 тонну.

6) *Защищенность от несанкционированного доступа.* Поскольку волоконно-оптические кабели вообще не излучают в радиодиапазоне, то передаваемую по ним информацию трудно подслушать, не нарушая приемопередачи. Система мониторинга (непрерывного контроля) целостности оптической линии связи, используя свойства высокой чувствительности волокна, могут мгновенно отключить подслушаемый канал и подать сигнал тревоги. Системы, использующие интерференционные эффекты распространяемых оптических сигналов, имеют очень высокую чувствительность к колебаниям, к небольшим перепадам давления. Такие системы особенно необходимы при создании линий связи в правительственных, банковских и некоторых других специальных службах, предъявляющих повышенные требования к защите данных [1].

7) *Пожаробезопасность.* Отсутствие искрообразования оптического волокна повышает безопасность сети в зданиях повышенного риска взрыва и пожара, на химических, нефтеперерабатывающих предприятиях.

8) *Экономическая эффективность.* Волокно изготавливается из кварца. Основу его составляет двуокись кремния SiO_2 , широко распространенного в природе. Значит, для изготовления волоконно-оптического кабеля не расходуются дефицитные цветные металлы. В современных условиях, когда уже сказывается ограниченность мировых запасов меди и свинца, переход на недефицитное сырье становится важнейшим фактором для будущего развития техники кабельной связи. В итоге стоимость оптического кабеля по отношению к медным кабелям уменьшится.

Волоконно-оптический кабель позволяет передавать сигналы на очень большие расстояния без ретрансляции. Использование оптического кабеля на протяженных линиях приведет к сокращению количества ретрансляторов. Это тоже уменьшает стоимость.

9) *Длительный срок эксплуатации.* Со временем волокно испытывает деградацию, т.е. затухание в проложенном кабеле постепенно возрастает. Однако благодаря совершенству современных технологий производства оптических волокон, этот процесс значительно замедлен и увеличен срок эксплуатации. Срок службы ВОК составляет примерно 25 лет.

10) *Удаленное электропитание.* В некоторых случаях требуется удаленное электропитание узла информационной сети. Оптическое волокно не способно выполнять функции силового кабеля. Однако в этих случаях можно использовать смешанный кабель, когда наряду с оптическими волокнами кабель оснащается медным проводящим элементом. Такие кабели широко используются во многих странах.

Несмотря на многочисленные преимущества перед другими способами передачи информации, системы ВОС имеют также и недостатки, главным образом из-за

дороговизны монтажного оборудования и надежности лазерных источников излучения.

Недостатки:

1) *Дороговизна элементной базы.* Цена оптических передатчиков и приемников высокая. Особенно высока цена лазерных передатчиков и к тому же ограничен срок службы. Изготовление пассивных оптических устройств (мультиплексоров, коммутаторов, аттенюаторов и др.) также приводит к большим затратам.

2) *Сложность монтажа и обслуживание линий ВОС.* По сравнению с электрическими кабельными системами строительства, техническая эксплуатация, работа по измерению и монтажу оптических кабельных систем наиболее сложная и требует очень высокой квалификации.

3) *Необходимость специальной защиты волокна.* Чтобы на микротрещинах не потерялись сигналы, надо защитить волокно от перегрузок и изгибов. Чтобы организовать специальную защиту, с целью повышения надежности, оптическое волокно при изготовлении покрывают специальным лаком на основе эпоксикарилата. Кроме этого, кабель может упрочняться специальным стальным тросом или стеклопластиковыми стержнями.

Это все увеличивает стоимость волоконно-оптического кабеля. Эти недостатки частично или полностью будут снижены при дальнейшем развитии технологии ВОС.

7.2. Принципы построения волоконно-оптических систем передачи

В системах ОС происходит передача и обработка информации в виде световых или оптических сигналов. Выбор вида светового излучения и длины волны для ОС зависит как от характера передаваемого сообщения, так и от возможностей создания такого излучения, формирования из него сигнала, передачи и обработки световой волны и, наконец, приема сигнала, содержащего информацию.

Обобщенная структурная схема системы оптической системы приведена на рисунке 7.1. Схема состоит из стандартных блоков (элементов) присущих этим видам оптических систем: волоконно-оптической и открытой оптической систем.

От источника сообщений поступает непрерывная или цифровая информация. Дальше сигналы модулируются с оптической несущей. Потом оптический сигнал в виде светового луча распространяется по передающей среде – оптическому каналу. Передающей средой может быть открытое пространство, атмосфера, то есть линия ООС или линия ВОС. Передаваемая информация в демодуляторе оптического приемника демодулируется. При передаче на дальние расстояния, когда на входе приемника отношение сигнал/помеха ниже требуемого уровня, на линии устанавливаются регенераторы.

Рассмотрим структурную схему систем ВОС (рис. 7.2).

Совокупности СП, ОС, ОПер и СП, ОС, ОПр образуют соответственно тракт передачи и приема оконечных станций А и Б. В промежуточных станциях устанавливаются ОР, КОУ. В волоконно-оптический линейный тракт входят: ОПер, ОВ, ОР, КОУ, ОПр.

Как видно на рисунке 7.2, с передающей станции N первичные электрические сигналы поступают на систему передачи. С выхода СП многоканальный электрический сигнал подается в ОС, где он преобразуется в форму, целесообразную для передачи по волоконно-оптическому линейному тракту. В оптическом передатчике электрический сигнал путем модуляции опти-

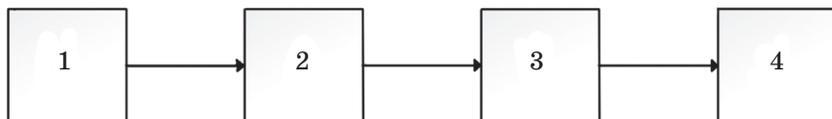


Рис. 7.1. Обобщенная структурная схема системы оптических систем: 1 – источник информации; 2 – оптический передатчик и модулятор; 3 – оптический канал; 4 – оптический приемник.

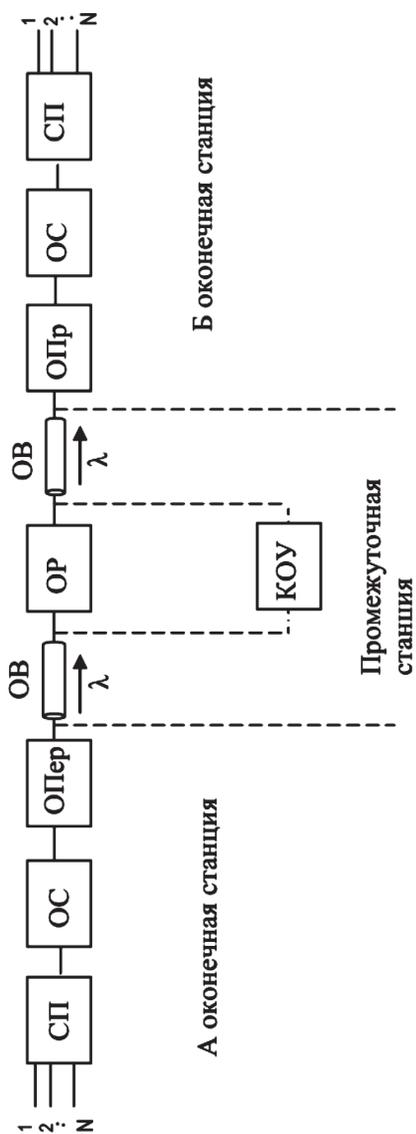


Рис. 7.2. Структурная схема системы ВОС:

СП – система передачи; ОС – оборудование сопряжения;
 ОПер – оптический передатчик; ОВ – оптическое волокно;
 ОР – оптический регенератор; КОУ – квантовый оптический усилитель; ОПр – оптический приемник.

ческой несущей преобразуется в оптический, который далее передается по ОВ.

При распространении оптического сигнала по ОВ происходит его ослабление и искажение. С целью увеличения дальности связи через определенное расстояние, в зависимости от степени искажения сигнала устанавливаются регенераторы или квантовые оптические усилители. На входе регенератора оптический сигнал преобразуется на электрический, а на выходе с электрического сигнала на оптический, т.е. в регенераторах электрический сигнал усиливается, корректируется и восстанавливается его первоначальная форма. При использовании квантовых оптических усилителей ослабленные оптические сигналы, не преобразуясь на электрические сигналы, усиливаются.

На приемной оконечной станции Б осуществляется обратное преобразование. В ОС для модуляции оптической несущей информационным сигналом можно использовать частотную (ЧМ), фазовую (ФМ), амплитудную (АМ), поляризационную (ПМ) модуляции, модуляции по интенсивности (МИ) и др. В большинстве используется модуляция по интенсивности оптического излучения. Причина этого в том, что этот вид модуляции в широком диапазоне частот выполняется для используемых в оптических передатчиках полупроводниковых источников излучения (светодиодов, лазерных диодов) простыми техническими средствами. Для управления интенсивностью излучения полупроводникового источника достаточно изменять ток инжекции (ток накачки) в соответствии с модулирующим сигналом. Это легко обеспечивается электронной схемой возбуждения в виде усилителя тока. Модуляция интенсивности оптического излучения приводит и к простым решениям – обратного преобразования оптического сигнала в электрический. Действительно, фотодетектор, входящий в состав фотоприемника, является квадратичным прибором, выходной ток которого пропорционален квадрату амплитуды оптического поля.

Подавая модулированный по интенсивности оптический сигнал непосредственно на фотодетектор, можно очень просто преобразовать его в электрический, с сохранением формы модулирующего сигнала. Этот принцип приема оптического сигнала называется *методом прямого фотодетектирования*.

В настоящее время в качестве оконечного оборудования используются цифровые системы передачи (ЦСП), потому что ЦСП по сравнению с аналоговыми системами передачи имеет следующие преимущества: высокая помехоустойчивость, малая зависимость качества передачи от длины линейного тракта, высокие технико-экономические показатели и др. Использование аналоговых систем передачи с частотным разделением каналов в системах ОС ограничена из-за нескольких недостатков.

7.3. Использование волоконной оптики в транспортной сети телекоммуникаций

Наблюдаемый сегодня бурный рост объемов данных и голосового трафика, во многом вызванный развитием сети Интернет, создал дефицит пропускной способности в городских оптоволоконных каналах. В результате конкурирующие операторы связи, Интернет-провайдеры и прочие компании, связанные с телекоммуникациями, почувствовали, что их возможности по удовлетворению спроса на полосу пропускания и расширению ассортимента услуг резко ограничены. Прокладка новых оптоволоконных кабелей в густонаселенных городских районах часто требует больших расходов и занимает много времени, поэтому операторы связи вынуждены искать иные решения. Чтобы справиться с быстрым ростом абонентской базы, удовлетворить сложные требования новых приложений в области полосы пропускания и разнообразить свои услуги, провайдеры должны с максимальной эффективностью использовать уже проложенные оптоволоконные кабели, а также кабели, ко-

торые будут проложены в будущем. Поэтому с каждым годом все более актуальными становятся технологии, позволяющие существенно увеличить пропускную способность существующей инфраструктуры. Наиболее перспективной в настоящее время является технология плотного спектрального мультиплексирования по длине волны.

Технология плотного спектрального мультиплексирования по длине волны (DWDM)

Технология DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) обеспечивает наибольшую пропускную способность при использовании одной оптической пары. Высокая пропускная способность достигается за счет применения технологии мультиплексирования по длине волны, когда по одной оптической паре передается несколько независимых потоков, каждый на своей длине волны. Существующее сейчас оборудование позволяет передавать до 300 независимых оптических потоков в одной оптической паре. В каждом из таких каналов прозрачно передается информационный поток на скоростях от 100 Мбит/с до 40 Гбит/с.

Внедрение технологии плотного спектрального мультиплексирования по длине волны (Dense Wavelength Division Multiplexing – DWDM) создает возможность повышения эффективности передачи трафика в оптических каналах городских сетей. Наиболее привлекательной особенностью технологии DWDM, как с технической, так и с экономической точки зрения, является ее способность поддерживать практически неограниченные возможности по передаче трафика. Она не только защищает инвестиции, вложенные в существующие оптоволоконные каналы, но и повышает их возможности, по меньшей мере, в 32 раза. По мере роста спроса имеется возможность расширять емкость своей сети с помощью простых модернизаций оборудования или за счет увеличения количества задействованных длин волн (λ), не прибегая к дорогостоящим реконструкци-

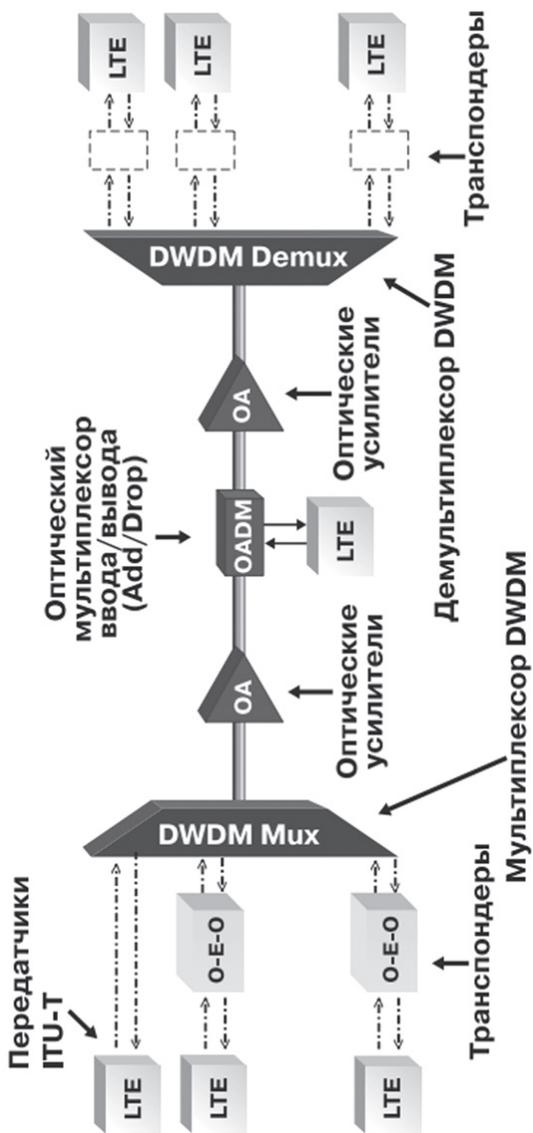


Рис. 7.3. Компоненты системы DWDM

ям. Расширяя емкость, вы будете платить только за новое оборудование. Что же касается кабельной сети, то она останется прежней.

Основными сетевыми элементами сети DWDM являются (рис. 7.3):

- DWDM-мультиплексоры/демультиплексоры;
- DWDM-мультиплексоры ввода/вывода;
- DWDM-транспондеры, преобразующие оптические сигналы (одномодовые или многомодовые) от оборудования пользователя в одну из длин волн;
- оптические усилители;
- компенсаторы дисперсии.

Помимо полосы пропускания, технология DWDM имеет целый ряд других преимуществ:

Прозрачность. Поскольку DWDM – это архитектура физического уровня, она может прозрачно поддерживать мультиплексирование с разделением по времени (TDM) и форматы данных ATM, Gigabit Ethernet, ESCON и Fibre Channelc открытыми интерфейсами на общем физическом уровне.

Масштабируемость. DWDM может использоваться для быстрого наращивания емкости в соединениях «точка-точка» и сегментах существующих колец SDH.

Технология грубого спектрального мультиплексирования по длине волны (CWDM)

Технология CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) является упрощенным вариантом DWDM. Согласно рекомендации ITU-T G.694.2, CWDM использует длины волн с шагом 20 нм, т. е. отстоящие достаточно далеко друг друга, что делает стоимость систем, построенных на основе этой технологии, значительно более низкой, чем у систем на базе DWDM.

Технология CWDM, аналогично DWDM, является протоколонезависимой, и по каждому из каналов можно передавать любой трафик со скоростями от 100 Мбит/с до 2,5 Гбит/с. Основным ограничением

CWDM (по сравнению с DWDM) является меньшее количество каналов (в настоящее время поддерживается до 8 мультиплексируемых каналов) и меньшая дальность связи. В силу ограничений основная область применения этой технологии – оптические сети городского и регионального масштаба в условиях дефицита свободного оптического волокна и/или для расширения пропускной способности существующих сетей.

Основными сетевыми элементами CWDM являются:

- CWDM-мультиплексоры/демультиплексоры;
- CWDM-мультиплексоры ввода/вывода;
- CWDM-транспондеры, преобразующие оптические сигналы (одномодовые или многомодовые) от оборудования пользователя к одной из длин волн CWDM.

CWDM может быть использовано как расширение существующей оптической инфраструктуры, использующейся для транспорта Gigabit Ethernet, которое поддерживает:

- масштабируемые соединения Gigabit Ethernet «точка-точка» для объединения узлов с использованием «темного» волокна;
- масштабируемые городские кольцевые сети Gigabit Ethernet для организации сетей доступа и предоставления услуг, требующих большой пропускной способности.

CWDM состоит из набора из 8 модулей Gigabit Ethernet (по 1 для каждой фиксированной длины волны) и набора из 10 различных оптических мультиплексоров CWDM. Пример использования CWDM для объединения двух узлов приведен на рисунке 7.4.

Технология синхронной цифровой иерархии (SDH)

В 5 главе настоящего учебного пособия уже затрагивались некоторые аспекты данной технологии. Напомним лишь главное.

Сеть на базе SDH способна обеспечивать транспорт для большинства существующих технологий высокоскоростной передачи информации по оптическим се-

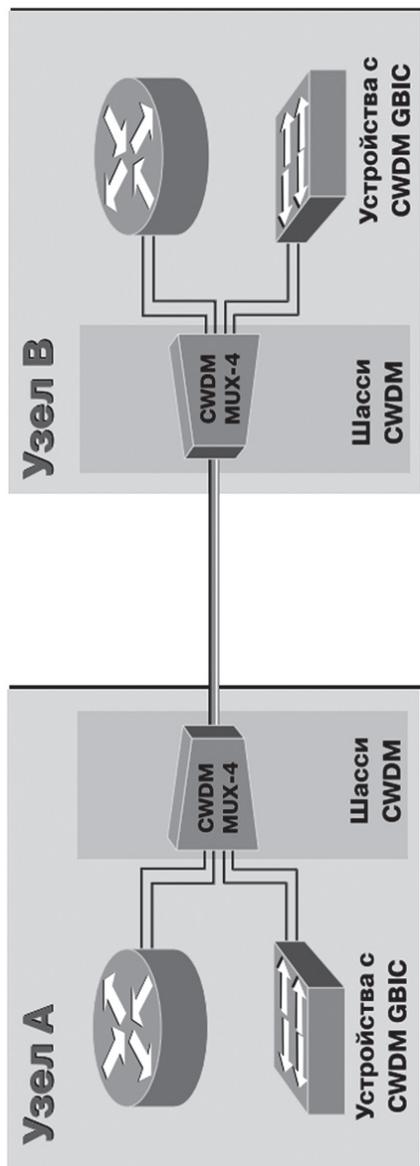


Рис. 7.4. Пример использования CWDM для объединения двух узлов

тям (в том числе ATM и POS). Существующее на сегодняшний день оборудование SDH может передавать информацию со следующими линейными скоростями: 155 Мбит/с (STM-1); 622 Мбит/с (STM-4); 2,5 Гбит/с (STM-16); 10 Гбит/с (STM-64), 40 Гбит/с (STM-256).

Функционально мультиплексор SDH имеет два набора интерфейсов: пользовательский и агрегатный. Пользовательский набор отвечает за подключение пользователей, а агрегатный – за создание линейных межузловых соединений.

Технология пакетной передачи данных поверх SDH (POS)

Технология пакетной передачи данных поверх SDH (Packet over SDH – POS) позволяет маршрутизаторам опорной сети передавать пакеты IP непосредственно поверх фреймов SDH. POS обеспечивает наиболее эффективную передачу пакетов и обеспечивает наименьшую стоимость за мегабит по сравнению с любыми другими способами транспорта данных. POS использует протокол PPP для инкапсуляции IP-пакетов в фреймы SDH и используется для соединений «точка-точка». В ситуации непрерывного развития оптических сетей эти характеристики позволяют POS эффективно поддерживать нарастающие объемы IP-трафика в существующих и новых оптических сетях. Интерфейс POS совместим с SDH. Он поддерживает обработку сигналов тревоги, мониторинг производительности, синхронизацию и защищенную коммутацию на уровне SDH.

Технология динамического транспорта пакетов (DPT)

Технология динамического транспорта пакетов (Dynamic Packet Transport – DPT – высокоскоростная технология динамической передачи IP-пакетов) была предложена компанией Cisco Systems и находится в стадии принятия в качестве международного стандар-

та IEEE 802.17. DPT обеспечивает надежность и гибкость, характерную для традиционных транспортных технологий SONET/SDH, однако она оптимизирована для поддержки трафика и приложений IP. DPT использует двойное оптическое кольцо, по которому трафик и контрольные сообщения передаются одновременно в двух направлениях. Протокол DPT Spatial Reuse Protocol (SRP) позволяет снимать с пакетов данные о месте назначения и выполнять статистическое мультиплексирование, что резко повышает полосу пропускания в кольце, и создавать среду, независимую от типа трафика.

DPT сочетает эффективность использования полосы пропускания и богатство услуг IP с широкой пропускной способностью и функциями «самовосстановления», которые характерны для традиционных оптоволоконных колец. Все это создает значительные преимущества по сравнению с существующими решениями как по стоимости, так и по функциональности.

Данная технология ориентирована в первую очередь на провайдеров услуг по передаче данных и позволяет отказаться от промежуточных уровней при передаче IP-трафика по сетям SDH. Основная идея состоит в создании нового стандарта 2-го уровня модели OSI, позволяющего напрямую инкапсулировать пакеты IP в кадры формата SDH. Таким новым MAC-уровнем в технологии DPT является протокол SRP (Spatial Reuse Protocol), использующий стандартную MAC-адресацию. При этом внедрение новой технологии облегчается тем, что она позволяет использовать оптическую кабельную инфраструктуру, аналогичную SDH.

При работе устройств используются два основных механизма:

- механизмы равномерной загрузки каналов (fairness algorithm) и переиспользования полосы (spatial reuse), которые позволяют независимым образом использовать пропускную способность каналов связи на различных участках кольца;

– механизм замыкания каналов в случае отказов каналов или устройств (Intelligent Protection Switching – IPS).

Предполагается, что сети, построенные на базе технологии DPT, имеют кольцевую топологию, хотя технология допускает и использование подключения типа «точка-точка». Узлы в кольце объединяются высокоскоростными оптоволоконными каналами связи на скоростях 155/622/2400 Мбит/с. Специализированный протокол IPS (Intelligent Protection Switching) обеспечивает отказоустойчивую работу сети при выходе из строя одного из узлов в кольце или обрыве магистральной линии связи. Технология DPT обеспечивает уровень защиты от сбоя в сети, аналогичный традиционным системам SDH, и при обрыве магистрального канала связи переход на альтернативный маршрут происходит менее чем за 50 мс. При этом в пограничных маршрутизаторах опорной сети не происходит перестройки таблиц маршрутизации.

В то же время технология DPT позволяет использовать всю пропускную способность опорной сети (в отличие от технологии SDH, реализующей резервирование пропускной способности в сети на случай сбоя). Кроме того, специальные механизмы, реализованные в данной технологии, обеспечивают необходимый уровень приоритизации и статистического мультиплексирования пакетов.

Основными преимуществами технологии DPT являются:

– эффективное использование полосы пропускания. По сравнению с технологиями TDM, полоса пропускания используется более полно за счет применения пакетной технологии, нет необходимости выделять отдельную полосу для резервирования;

– возможность построения высокоскоростной сети передачи пакетов (IP-сеть) без наложения дополнительных промежуточных протоколов 2-го уровня модели OSI. Это повышает эффективность использования каналов и позволяет отказаться от дополнительного оборудо-

дования для интеграции данных и голоса при передаче в опорную часть сети;

- возможность организации сервиса VoIP;

- высокоскоростная доставка пакетов с требуемым качеством обслуживания и высокой степенью защиты информации (посредством использования технологии MPLS);

- возможность одновременной загрузки различных участков. Наличие протокола SRP (Spatial Reuse Protocol) позволяет вести одновременный обмен данными между любыми узлами в сети;

- снижение загрузки маршрутизатора, вся обработка транзитного трафика осуществляется прямо на интерфейсном модуле, при этом только трафик, предназначенный для конкретного узла, обрабатывается центральным процессором узлового маршрутизатора;

- возможность приоритизации трафика, трафик можно распределять по двум очередям в буферной памяти на интерфейсных модулях и в буферной памяти маршрутизатора;

- резервирование каналов связи и оборудования (включая блоки питания, управляющие модули);

К недостаткам технологии DPT можно отнести:

- невозможность организации «прозрачных» каналов;

- необходимость построения сети передачи данных на оборудовании одного производителя.

В данном параграфе были рассмотрены основные технологии, использующие волоконно-оптические линии связи для надежной транспортной сети телекоммуникаций. Далее в следующем параграфе подробно будет рассмотрена технология внедрения волоконной оптики в сеть абонентского доступа.

7.4. Использование волоконной оптики в сети абонентского доступа

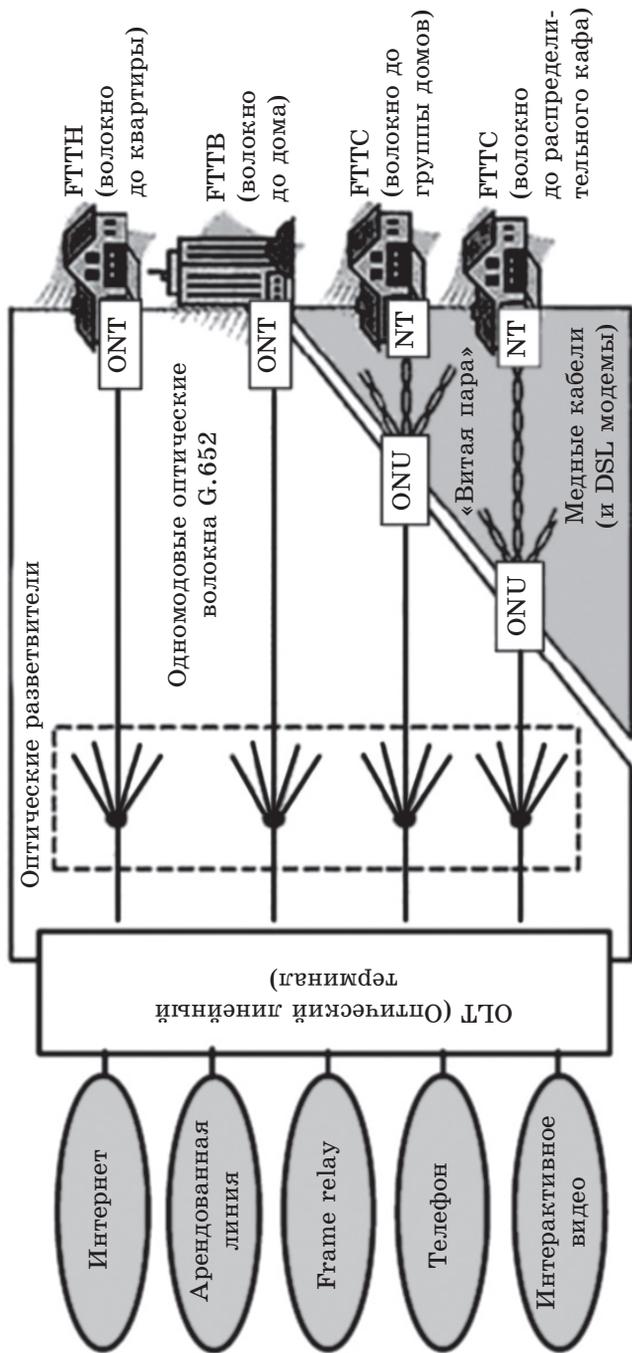
Группа технологий FTTx (Fiber To The x – оптическое волокно до ...) предназначена для совместного ис-

пользования с технологиями ADSL и VDSL и позволяет более эффективно использовать пропускную способность этих технологий благодаря сокращению длины медно-кабельных линий связи. Есть несколько вариантов реализации FTTx, из них можно выделить основные:

- FTTN – Fiber To The Home (доведение волокна до квартиры);
- FTTB – Fiber To The Building (доведение волокна до здания).
- FTTN (Fiber to the Node) – волокно до сетевого узла;
- FTTO – Fiber To The Office (доведение волокна до офиса);
- FTTC – Fiber To The Curb (доведение волокна до кабельного шкафа);
- FTTCab – Fiber To The Cabinet (аналог FTTC);
- FTTR – Fiber To The Remote (доведение волокна до удаленного модуля, концентратора);
- FTTOpt – Fiber To The Optimum (доведение волокна до оптимального пункта);
- FTTP – Fiber To The Premises (доведение волокна до точки присутствия клиента).

Отдельно нужно отметить концепцию FTTB (Fiber In The Building) – Организация распределительной сети внутри здания. Выше указанные технологии отличаются главным образом тем, насколько близко к пользовательскому терминалу подходит оптический кабель (рис. 7.5).

На данный момент интенсивно растет интерес к развертыванию оптических сетей доступа с прокладкой кабеля до здания (FTTB), а также непосредственно до абонента (FTTN). В большей степени такая ситуация объясняется постоянным ростом требований к пропускной способности каналов связи, поскольку сейчас наблюдается бум развития «тяжелых» Интернет-приложений, включая онлайн-видео, онлайн-игры и прочие сервисы.



ОЛТ (Оптический линейный терминал) ONT (Оптический сетевой терминал)
 ONU (Оптический сетевой оконечный блок) NT (Сетевой терминал)

Рис. 7.5. Технологии оптического доступа FTTx

При этом запланированный набор услуг и необходимая для его предоставления полоса пропускания имеют самое непосредственное влияние на выбор технологии FTTx. Поэтому чем выше скорость доступа и чем больше набор предоставляемых абоненту услуг, тем ближе к абонентскому терминалу должно подходить оптическое волокно, т. е. нужно использовать технологии FTTH. В случае, когда приоритетом является сохранение уже имеющейся сетевой инфраструктуры и оборудования, оптимальным выбором будет FTTB.

Если же говорить о практическом использовании, архитектура FTTB преобладает в новостройках и у крупных операторов связи, тогда как FTTH востребована в новом малоэтажном строительстве (например, в коттеджных городках в окрестностях крупных городов).

Рассмотрим особенности реализации и применения наиболее распространенных технологий.

Технология FTTH используется в основном как бюджетное и быстро внедряемое решение там, где существует распределительная «медная» инфраструктура и прокладка оптики нерентабельна. Всем известны связанные с этим решением трудности: невысокое качество предоставляемых услуг, обусловленное специфическими проблемами лежащих в канализации медных кабелей, существенное ограничение по скорости и количеству подключений в одном кабеле.

Технология FTTC – это улучшенный вариант FTTH, лишенный части его недостатков. Архитектура FTTC в первую очередь предназначена для операторов, уже использующих технологии xDSL или PON, и операторов кабельного телевидения. Реализация архитектуры FTTC позволит им с меньшими затратами увеличить и число обслуживаемых пользователей, а также выделяемую каждому из них полосу пропускания. В Узбекистане этот тип подключения часто применяется небольшими операторами студий кабельного телевидения. Связано это с более низкой стоимостью медных решений и с тем, что монтаж оптического кабеля требует высокой квалификации исполнителя.

Технология FTTB предполагает доведение волокна до здания и получила наибольшее распространение, так как при строительстве сетей FTTx на базе Ethernet – это, зачастую, единственная технически возможная схема построения сети. Кроме того, в структуре затрат на создание Ethernet-сети разница между вариантами FTTC и FTTB относительно небольшая. Также не следует забывать, что операционные расходы при эксплуатации сети FTTB ниже, а пропускная способность выше.

Технологию FTTB целесообразно применять в случае развертывания сети в многоквартирных домах и бизнес-центрах. Операторы связи разворачивают сети FTTB пока только в крупных городах, но в перспективе планируется использование данной технологии повсеместно. В FTTB нет необходимости прокладывать дорогостоящий оптический кабель с большим количеством волокон, как при использовании FTTH.

В случае FTTB оптическое волокно заводится в дом, как правило, на цокольный этаж или на чердак и подключается к устройству ONU (Optical Network Unit). На стороне оператора связи устанавливается терминал оптической линии OLT (Optical Line Terminal). OLT является primary устройством и определяет параметры обмена трафика (например, интервалы времени приема/передачи сигнала) с абонентскими устройствами ONU (или ONT, в случае FTTH). Дальнейшее распределение сети по дому происходит по «витой паре» (рис. 7.6).

Технология FTTH является наиболее затратной, но в то же время и наиболее перспективной, среди всех типов доступа FTTx. FTTH подразумевает доведение оптического волокна до квартиры или частного дома пользователя. В этом случае оптическое волокно заводится в дом, как правило, на цокольный этаж или на чердак (что более экономически целесообразно) и подключается к устройству ONU (Optical Network Unit). На стороне оператора связи устанавливается терминал оптической линии OLT (Optical Line Terminal). OLT является primary устройством и определяет параметры об-

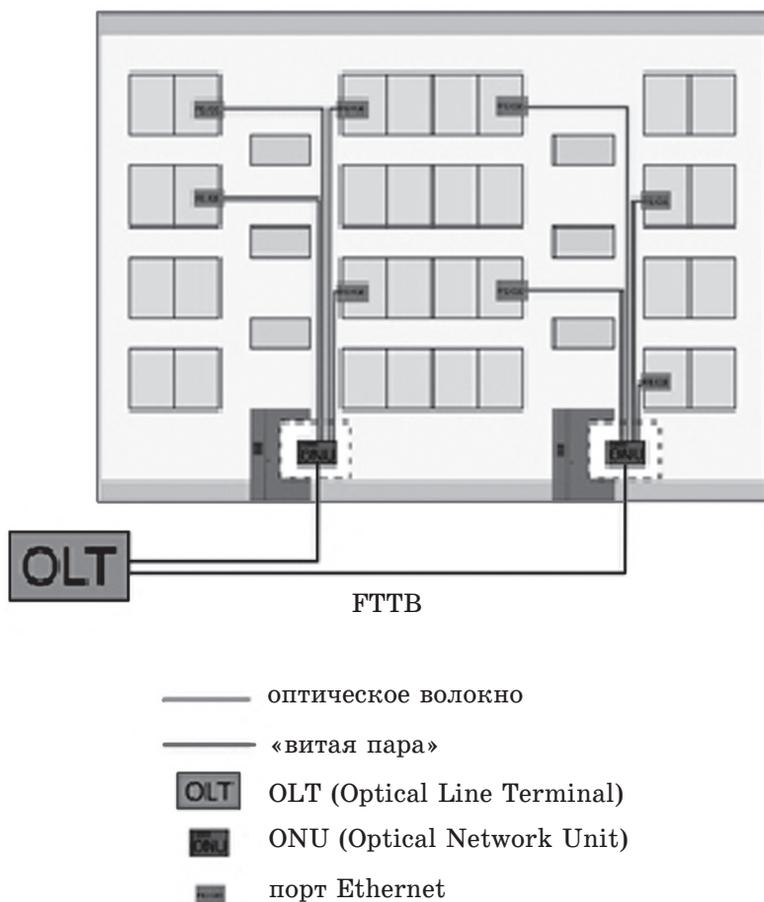


Рис. 7.6. Технология FTTH

мена трафика (например, интервалы времени приема/передачи сигнала) с абонентскими устройствами ONT (или ONU, в случае FTTH). Дальнейшее распределение сети по дому происходит по «витой паре».

На первый взгляд, строительство сети FTTH – это очень трудоемкий и дорогостоящий процесс, но опыт подсказывает, что основные затраты при развертывании сети FTTH приходятся на строительные работы, а стоимость самого оптоволоконного кабеля составляет относительно небольшую часть. Это означает, что в

случае необходимости проведения строительных работ количество прокладываемого оптоволоконного кабеля уже не имеет большого значения.

Более того, хотя жизненный цикл сети FTTH и ее электронных компонентов составляет несколько лет, оптоволоконный кабель и оптическая распределительная сеть имеют более длительный срок службы (по крайней мере, 30 лет).

Архитектуры развернутых сетей FTTH можно разделить на три основные категории:

- «Кольцо» Ethernet-коммутаторов;
- «Звезда» Ethernet-коммутаторов;
- «Дерево» с использованием технологий пассивной оптической сети PON.

Технология пассивной оптической сети PON

Подгруппа технологий пассивных оптических сетей (PON) – это семейство быстроразвивающихся, наиболее перспективных технологий широкополосного мультисервисного множественного доступа по оптическому волокну. Суть технологии пассивных оптических сетей, вытекающая из ее названия, состоит в том, что ее распределительная сеть строится без каких-либо активных компонентов: разветвление оптического сигнала осуществляется с помощью пассивных делителей оптической мощности – сплиттеров.

Следствием этого преимущества является снижение стоимости системы доступа, уменьшение объема необходимого сетевого управления, высокая дальность передачи и отсутствие необходимости в последующей модернизации распределительной сети.

Суть технологии PON заключается в том, что между приемопередающим модулем центрального узла OLT (optical line terminal) и удаленными абонентскими узлами ONT (optical network terminal) создается полностью пассивная оптическая сеть, имеющая топологию дерева (рис. 7.7).

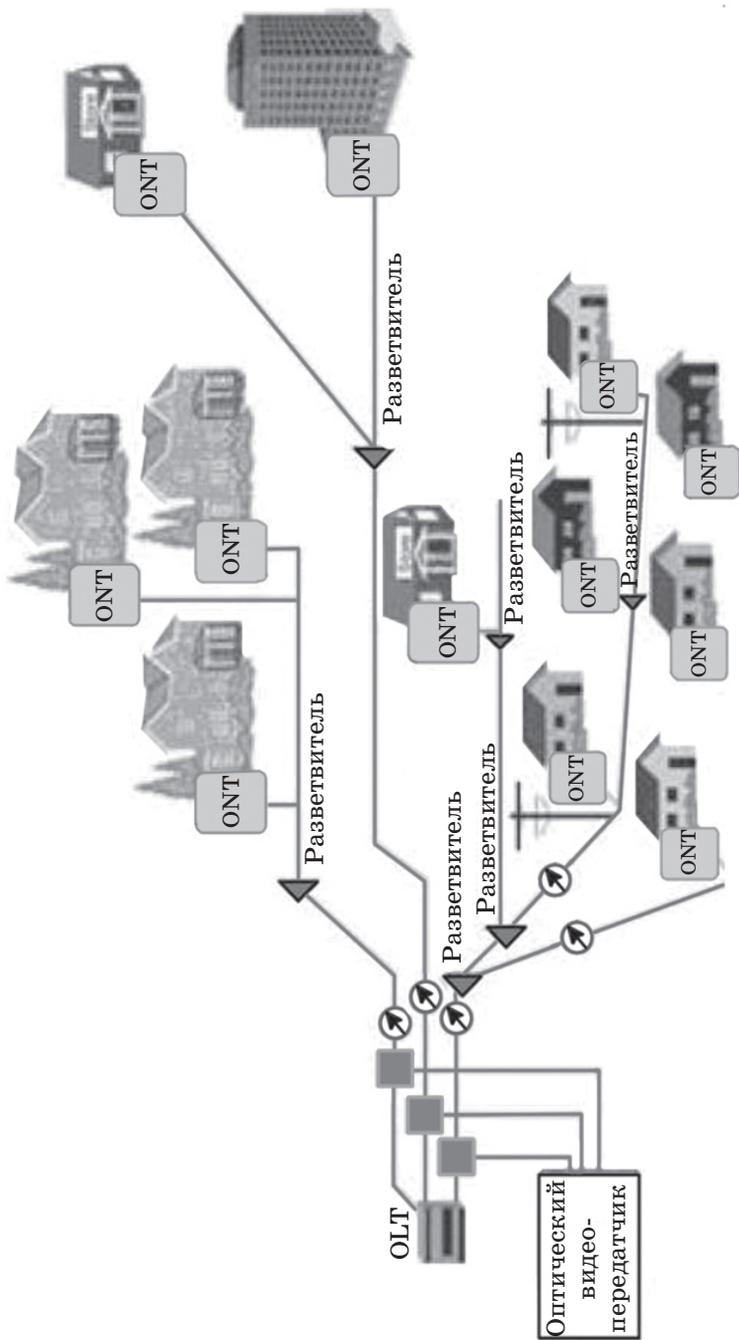


Рис 7.7. Архитектура PON сети

В промежуточных узлах дерева размещаются пассивные оптические разветвители (сплиттеры) с коэффициентом разветвления до 1:64 или даже 1:128 – компактные устройства, не требующие питания и обслуживания. Один приемопередающий модуль OLT позволяет передавать информацию множеству абонентских устройств ONT.

Число ONT, подключенных к одному OLT, может быть настолько большим, насколько позволяет бюджет мощности и максимальная скорость приемопередающей аппаратуры.

Для передачи прямого и обратного канала используется одно оптическое волокно, полоса пропускания которого динамически распределяется между абонентами, или два волокна в случае резервирования. Нисходящий поток (downstream) от центрального узла к абонентам идет на длине волны 1490 нм и 1550 нм для видео.

Восходящие потоки (upstream) от абонентов идут на длине волны 1310 нм с использованием протокола множественного доступа с временным разделением (TDMA). В некоторых случаях используется дополнительная длина волны нисходящего потока (downstream), что позволяет предоставлять традиционные аналоговые и цифровые телевизионные услуги пользователям без применения телевизионных приставок с поддержкой IP.

Для построения PON используется топология «точка – многоточка» и сама сеть имеет древовидную структуру. Каждый волоконно-оптический сегмент подключается к одному приемопередатчику в центральном узле (в отличие от топологии «точка – точка»), что также дает значительную экономию в стоимости оборудования. Один волоконно-оптический сегмент сети PON охватывает до 32 абонентских узлов в радиусе до 20 км для технологий EPON/BPON и до 128 абонентских узлов в радиусе до 60 км для технологии GPON (рис. 7.8).

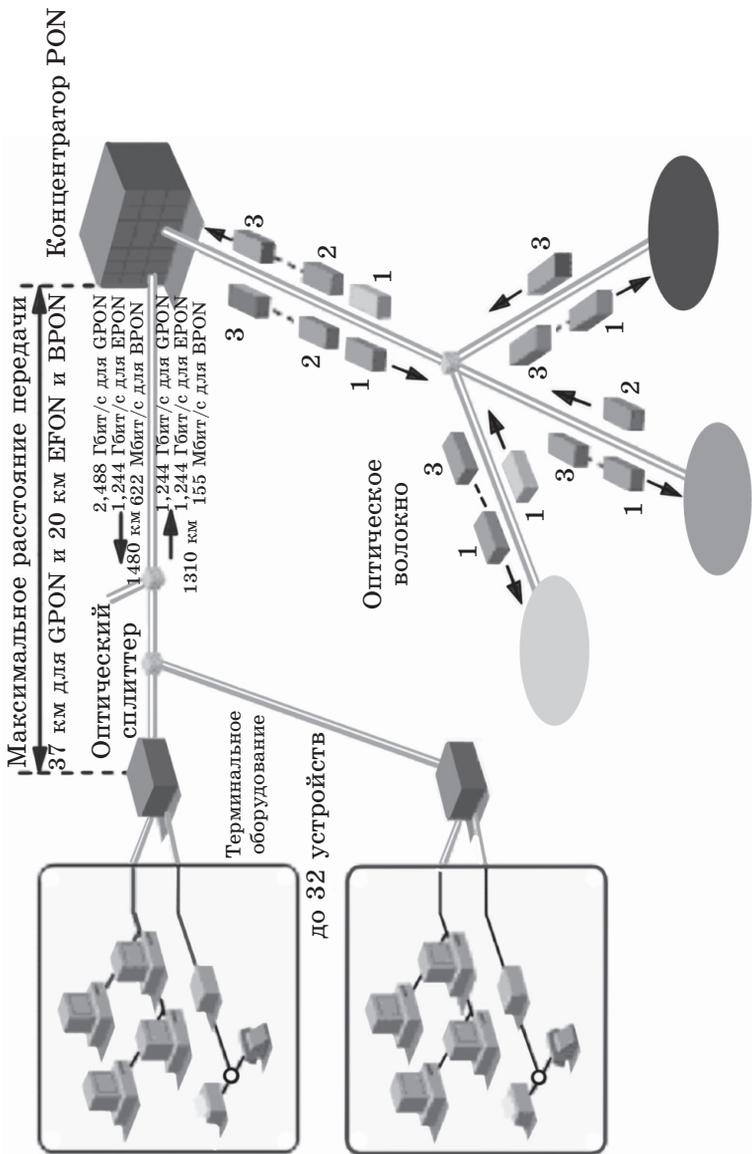


Рис. 7.8. Принцип временного разделения абонентов в технологии PON

Каждый абонентский узел рассчитан на обычный жилой дом или офисное здание и в свою очередь может охватывать сотни абонентов. Все абонентские узлы являются терминальными, и отключение или выход из строя одного или нескольких абонентских узлов никак не влияет на работу остальных.

Архитектура FTTH на базе PON обычно поддерживает протокол Ethernet. Центральный узел PON может иметь сетевые интерфейсы ATM, SDH (STM-1), Gigabit Ethernet для подключения к магистральным сетям. Абонентский узел может предоставлять сервисные интерфейсы 10/100BaseTX, FXS (2, 4, 8 и 16 портов для подключения аналоговых телефонных абонентов), E1, цифровое видео, ATM (E3, DS3, STM-1).

На рисунке 7.9 изображена типичная пассивная оптическая сеть PON, в которой используются различные терминаторы оптической сети (optical network termination, ONT) или устройства оптической сети (optical network unit, ONU). ONT предназначены для использования отдельным конечным пользователем. Устройства ONU обычно располагаются на цокольных этажах или в подвальных помещениях и совместно используются группой пользователей. Голосовые сервисы, а также услуги передачи данных и видео доводятся от ONU или ONT до абонента по кабелям, проложенным в помещении абонента.

В семействе сетей PON существует несколько разновидностей, отличающихся, в первую очередь, базовым протоколом передачи. Причем, стандарты PON активно совершенствуются в направлении увеличения скорости передачи и дальности связи.

Стандарт сети APON был создан международным консорциумом FSAN (Full Service Access Network) в 1995 году. В состав сети APON входят:

- один сетевой узел OLT (OpticalLine Terminal);
- до 32 абонентских терминалов ONU (Optical Network Unit);
- пассивные оптические ответвители (splitter).

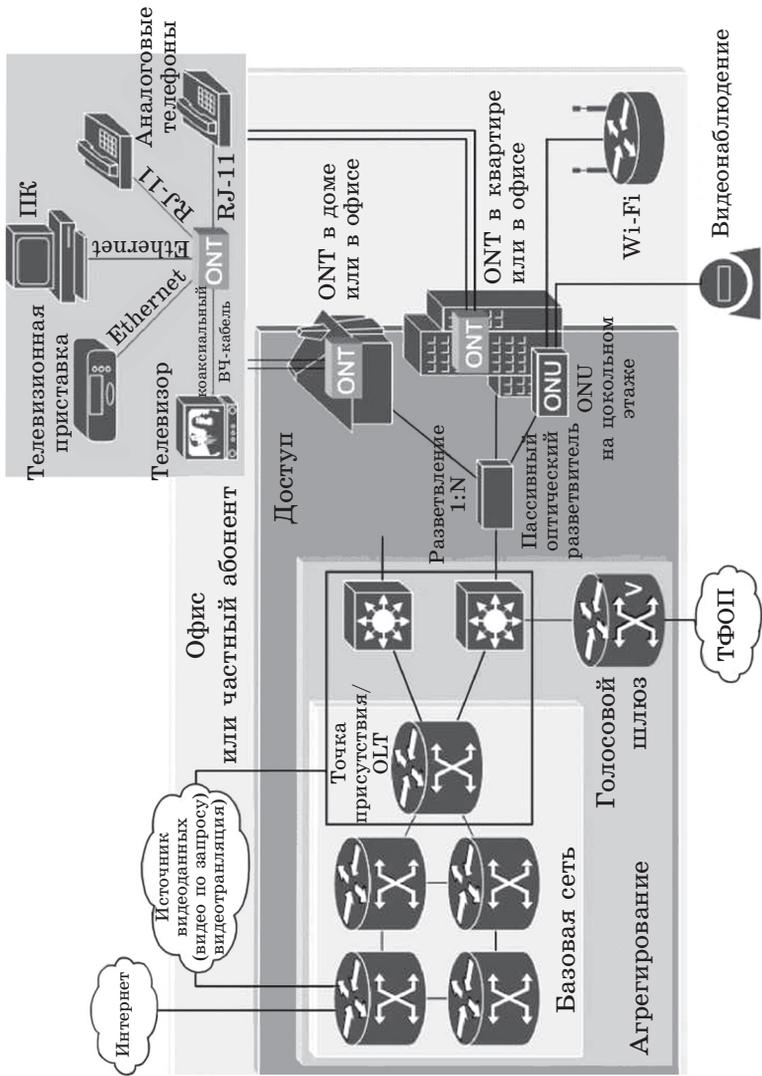


Рис. 7.9. Структура типичной пассивной оптической сети PON

В стандарте APON обеспечивалась скорость передачи прямого и обратного потоков по 155 Мбит/с (симметричный режим) или 622 Мбит/с в прямом потоке и 155 Мбит/с в обратном (асимметричный режим). Во избежание наложения данных, поступающих от разных абонентов, OLT направляло на каждый ONU служебные сообщения с разрешением на отправку данных.

Прямой и обратный каналы организуются в одном оптическом волокне за счет волнового уплотнения – передача к абонентам ведется на длине волны 1550 нм, а в обратном направлении – 1310 нм. Скорость передачи информации для индивидуального пользователя составляет 20 Мбит/с, а максимальное удаление пользователя от узла доступа – 20 км. В настоящее время APON в своем первоначальном виде практически не используется.

Стандарт BPON появился в результате эволюционного совершенствования технологии PON. В BPON скорость прямого и обратного потоков доведена до 622 Мбит/с в симметричном режиме или 1244 Мбит/с и 622 Мбит/с в асимметричном режиме. Предусмотрена возможность передачи трех основных типов информации (голос, видео, данные), причем для потока видеoinформации выделена длина волны 1550 нм. BPON позволяет организовывать динамическое распределение полосы между отдельными абонентами. После разработки более высокоскоростной технологии GPON, применение BPON практически утратило смысл чисто экономически.

Стандарт EPON (Ethernet PON) появился в результате использования технологии Ethernet в локальных сетях и построение на их основе оптических сетей доступа. Такие сети, в основном, рассчитаны на передачу данных со скоростью прямого и обратного потоков 1 Гбит/с на основе IP-протокола для 16 (или 32) абонентов. Исходя из скорости передачи, в статьях и литературных источниках часто фигурирует название GEPON (Gigabit Ethernet PON), которое также отно-

сится к стандарту IEEE 802.3ah. Дальность передачи в таких системах достигает 20 км. Для прямого потока используется длина волны 1490 нм, 1550 нм резервируется для видеоприложений. Обратный поток передается на 1310 нм. Во избежание конфликтов между сигналами обратного потока применяется специальный протокол управления множеством узлов (Multi-Point Control Protocol, MPCP). В GPON также поддерживается операция bridging-обмена информацией между пользователями.

Технология GPON, которая наследует линейку APON – BPON, но с более высокой скоростью передачи – 1244 Мбит/с, 2488 Мбит/с (в асимметричном режиме) и 1244 Мбит/с (в симметричном режиме), считается наиболее удачной для больших операторов, строящих большие разветвленные сети с системами резервирования. За основу GPON был принят базовый протокол SDH (а точнее SDH на протоколе GFP) со всеми вытекающими преимуществами и недостатками. В GPON возможно подключение до 32 (или 64) абонентов на расстоянии до 20 км (с возможностью расширения до 60 км). GPON поддерживает трафик ATM, IP, речь и видео (инкапсулированные в кадры GEM – GPON Encapsulated Method), а также модули SDH. Сеть работает в синхронном режиме с постоянной длительностью кадра. Линейный код NRZ со скремблированием обеспечивают высокую эффективность полосы пропускания. Единственным серьезным недостатком GPON является высокая стоимость оборудования.

Технология WDM PON является следующим эффективным шагом по увеличению скорости передачи построенных систем PON за счет применения систем оптического уплотнения WDM. В рекомендации ITU-T G.983.2 описана возможность передачи сигналов на выделенных для каждого абонента длинах волн. В сети передается общий поток, а каждый абонентский терминал имеет оптический фильтр для выделения своей длины волны. Технически возможно обеспечить произво-

дительность системы со скоростями около 4–10 Гбит/с по каждому каналу. После такой реконструкции провайдеры получают возможность настраивать пропускную способность в соответствии с требованиями клиента и успешно добавлять или удалять устройства ONU без вмешательства в общую систему, т. е. в будущем внедрение систем WDM PON принесет реальные преимущества операторам при незначительных затратах.

Отдельные разновидности PON имеют свои преимущества и недостатки, но в целом BPON, основанный на платформе ATM, уже не обеспечивает высокую скорость передачи и практически не имеет перспектив.

Технология GPON является более удачной для сетей большой протяженности и емкости. Базовая платформа SDH обеспечивает хорошую защиту информации в сети, широкую полосу пропускания и другие преимущества. Однако более сложное и дорогостоящее оборудование хорошо окупается при высокой степени загрузки.

В GPON, в отличие от GPON, отсутствуют специфические функции поддержки TDM, синхронизации и защитных переключений, что делает эту технологию самой экономичной из всего семейства. Особенно это касается небольших операторов, ориентированных на IP-трафик, а впоследствии и IPTV. К тому же предполагается дальнейшее развитие этого ряда – 10GPON (по аналогии с 10 Gb Ethernet). Поэтому из-за наилучшего соотношения цена/качество при среднем размере сети в нашей стране вариант GPON получил наибольшее распространение.

Технология PON имеет ряд неоспоримых преимуществ:

- невысокая стоимость построения сети;
- экономия оптоволоконного кабеля на участке;
- низкие расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание сети;
- возможность постепенного наращивания сети;
- перспективность создания распределительной инфраструктуры, обеспечивающей в будущем развитие

любых мультимедийных услуг с практически неограниченной полосой пропускания;

– высокая надежность за счет использования пассивного оборудования.

Отметим типовые проблемные вопросы, с которыми сталкиваются провайдеры при развертывании пассивной оптической сети PON.

Общая полоса пропускания. Полоса пропускания в дереве оптоволоконных линий сети PON используется как можно большим числом абонентов. Хотя технология GPON обеспечивает общую пропускную способность нисходящего потока, равную 2,5 Гбит/с, она не может соответствовать росту будущих требований абонентов в долгосрочной перспективе, поскольку потребности в пропускной способности растут экспоненциально, особенно если некоторую часть полосы пропускания необходимо резервировать для потоковых услуг (например, IPTV).

Шифрование. Поскольку PON – это технология с общей средой передачи, то необходимо шифрование всех потоков данных. В технологии GPON проводится шифрование AES с 256-разрядными ключами только нисходящего потока. Однако использование стандарта AES снижает производительность сети, так как при шифровании необходима передача существенного объема служебной информации вместе с каждым пакетом.

Высокая рабочая скорость конечных устройств. В связи с использованием в пассивных оптических сетях PON общей передающей среды, каждое оконечное устройство (ONT или OLT) вынуждено работать на единой максимальной скорости передачи данных. Даже если абоненту необходима скорость 25 Мбит/с, каждая конечная точка оптической сети (ONT) в дереве PON должна работать на скорости стандарта (2,5 Гбит/с для GPON). Работа электронных и оптических устройств со скоростью, в 100 раз превышающей необходимую скорость передачи данных, повышает цену компонентов.

Необходимость большей мощности оптического сигнала. При каждом разветвлении в соотношении 1:2 энергетический потенциал линии связи падает на 3,4 дБ. Следовательно, при разветвлении в соотношении 1:64 энергетический потенциал линии связи уменьшается на 20,4 дБ (эквивалентно отношению мощностей 110). В этом случае все оптические передатчики должны обеспечивать в 110 раз большую мощность оптического сигнала по сравнению с архитектурой FTTH «точка – точка» при передаче на то же расстояние.

Доступ к абонентским линиям. Отделение абонентских линий (Local Loop Unbundling (LLU) – это метод, применяемый в сетях операторов телефонии для обеспечения доступа альтернативным операторам к абонентским медным линиям связи. Сети PON пока не удовлетворяют требованиям LLU, поскольку имеется только одна оптоволоконная линия для подключения группы абонентов, которая, следовательно, не может быть разделена на физическом уровне, а только на логическом уровне. Эта особенность пассивной оптической сети на базе PON предполагает массовую продажу услуг основного оператора без предоставления прямого абонентского доступа посредством отделения абонентских линий (LLU).

Неоптимальное использование ресурса сети. Обычно при развертывании сети FTTH выполняется одновременное подключение оптоволоконных линий связи для всех потенциальных абонентов в данном районе. Абоненты могут подписаться на сервис FTTH только после развертывания всех оптоволоконных линий. При развертывании услуг для частных абонентов провайдеры редко достигают 100% подписки. Обычно этот показатель близок к 30%, что означает, что часть структуры PON простаивает, а сеть в целом используется не оптимально.

Сложность обслуживания, поиска и устранения неисправностей. Пассивные оптические разветвители не могут передавать информацию о неисправностях в

центр управления сетью. Поэтому сложно обнаружить неисправность оптоволоконной линии между разветвителем и точкой терминирования оптической сети (ONT) абонента.

Это значительно усложняет поиск и устранение неисправностей в сетях PON и повышает затраты на их эксплуатацию. Так же при повреждении точки терминирования оптической сети (ONT) она может передавать в дерево оптоволоконных линий постоянный световой сигнал, что приводит к нарушению связи для всех абонентов этой сети, причем найти поврежденное устройство очень трудно.

Вместе с тем указанные проблемные вопросы не являются критичными и, по мнению многих аналитиков, рынок систем PON будет поступательно развиваться в течение ближайших трех-четырех лет, после чего начнется массовое внедрение систем в жилищном секторе.

Пример использования технологии PON для развития телекоммуникационной сети в коттеджном поселке приведен на рисунке 7.10.

Технология Ethernet FTTH

В решении Ethernet FTTH для коммутации линий подразумевается использование коммутаторов с оптическими портами или оптическими трансиверами.

В основе первых европейских проектов сетей Ethernet FTTH лежала архитектура, при которой коммутаторы, расположенные на цокольных этажах многоквартирных домов, были объединены в кольцо по технологии Gigabit Ethernet. Кольцевая структура обеспечивала прекрасную устойчивость к различного рода повреждениям кабеля и была весьма рентабельной, но к ее недостаткам можно было отнести разделение полосы пропускания внутри каждого кольца доступа (1 Гбит/с), что давало в перспективе сравнительно небольшую пропускную способность, а также вызывало трудности масштабирования архитектуры.

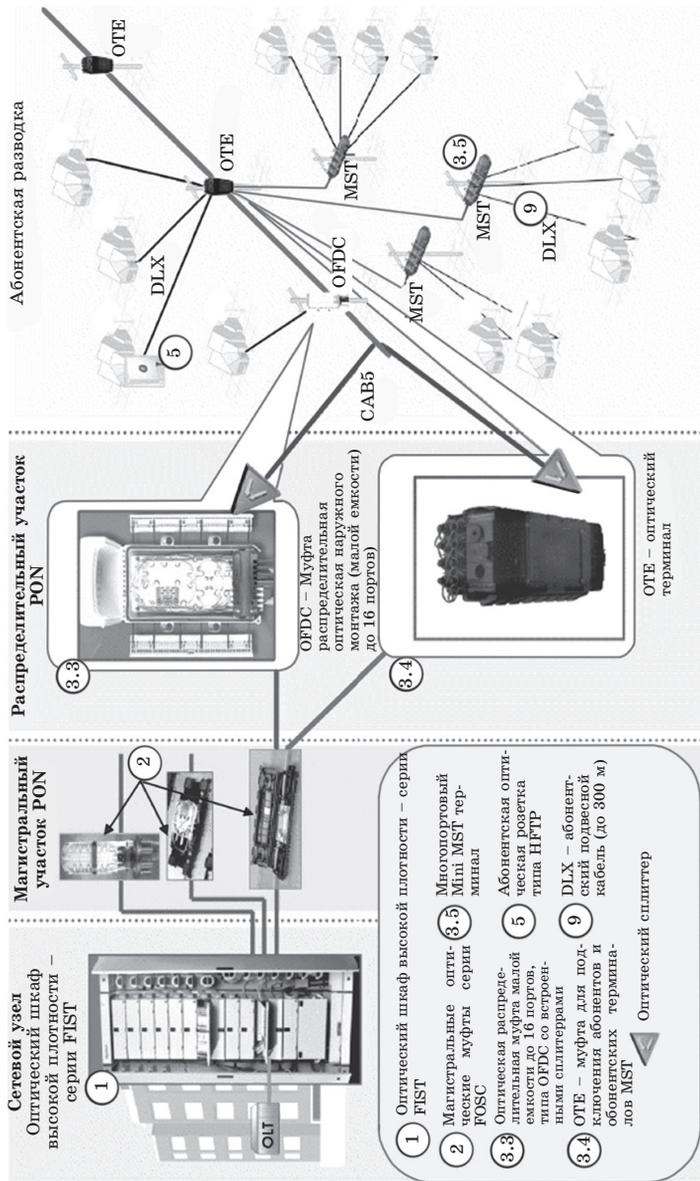


Рис 7.10. Пример использования технологии PON для разворачивания телекоммуникационной сети в коттеджном поселке

Затем широкое распространение получила архитектура Ethernet типа «звезда» (рис. 7.11). Такая архитектура предполагает наличие выделенных оптоволоконных линий (обычно одномодовых, одноволоконных линий с передачей данных Ethernet по технологии 100BX или 1000BX) от каждого оконечного устройства к точке присутствия (point of presence, POP), где происходит их подключение к коммутатору. К портам коммутатора подключаются устройства конечных пользователей. Такой подход обеспечивает высокий уровень надежности, за счет возможности резервирования оптических каналов, и преемственность с существующей «медной» инфраструктурой.

Рассмотрим преимущества решений Ethernet FTTH перед архитектурой на базе PON.

Практически неограниченная дискретная полоса пропускания. Оптоволоконная линия может обеспечить практически неограниченную полосу пропускания, что позволяет достичь максимальной гибкости в наращивании предоставляемых сервисов в будущем, когда потребность в пропускной способности возрастет. Архитектура Ethernet FTTH позволяет провайдеру гарантировать каждому абоненту необходимую пропускную способность и создавать в сети индивидуальные профили полосы пропускания для каждого клиента.

Большой радиус действия. В типовых конфигурациях сетей доступа Ethernet FTTH применяются недорогие одноволоконные линии, использующие технологию 100BX или 1000BX, с заданным максимальным радиусом действия 10 км. Для работы на больших расстояниях имеются оптические модули, позволяющие увеличить мощность оптического сигнала, а также оптоволоконные пары с оптическими модулями, которые можно подключить к порту любого Ethernet-оборудования.

Гибкое масштабирование сети. В случае появления новых абонентов можно добавить дополнительные карты Ethernet с высокой степенью модульности. На-

против, при использовании архитектуры на базе PON подключение первого абонента к оптическому дереву требует наличия наиболее дорогостоящего порта OLT, а при добавлении абонентов к тому же дереву PON, стоимость подключения каждого абонента только увеличивается за счет приобретения ONT.

Гибкое масштабирование скорости обслуживания абонентов. Поскольку одномодовые оптоволоконные линии не зависят от используемой технологии и скорости передачи данных, можно легко увеличить скорость для одного абонента, не влияя на работу других. Это означает, что абонент, использующий технологию Fast Ethernet, может перейти на Gigabit Ethernet за счет переключения оптоволоконной линии абонента на другой порт коммутатора и замены только Ethernet-устройства абонента.

Безопасность обеспечивается за счет того, что выделенная оптоволоконная линия является защищенной средой на физическом уровне. Кроме того, коммутаторы Ethernet, использующиеся у провайдеров, призваны обеспечить разделение физического уровня портов и логического уровня абонентов и имеют функции защиты, которые в состоянии предотвратить попытки вторжений.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение оптической связи.
2. В чем состоит достоинство волоконно-оптической линии связи?
3. В чем заключается принцип построения ВОСП?
4. Каково использование волоконной оптики в транспортной сети?
5. Каково использование волоконной оптики в сетях абонентского доступа?

8. ОБСЛУЖИВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ

8.1. Основные понятия и определения

Телекоммуникационные системы предполагают наличие системы управления. Говоря о функциональных характеристиках сети, последнюю нужно рассматривать как сложную систему, функционирующую в двух случайных, взаимозависимых средах, одна из которой определяется поступающей нагрузкой, другая – потоком отказов – восстановлений на элементы сети, формирующим состояние сети.

Предъявление требований к телекоммуникационным сетям, системам, комплексам и средствам телекоммуникаций является сложным процессом и основывается на теории эффективности. Объектом исследования теории эффективности являются системы и процессы оценки эффективности, а предметом исследования – закономерности создания, функционирования и развития систем и процессов оценки эффективности. Оценка эффективности связи и системы связи связана с такими понятиями, как свойство, характеристика, показатель, критерий, требование. Рассмотрим эти понятия.

Свойство – та сторона предмета (объекта, процесса), которая обуславливает его различие или общность с другими предметами (объектами, процессами) или обнаруживается в его отношении с ними. Каждый предмет, объект или процесс имеет основные и второстепенные свойства.

Основными свойствами связи являются:

- своевременность;

- достоверность;
- безопасность.

Характеристика – описание отличительных качественных свойств чего-либо или кого-либо. Характеристика может быть качественной или количественной. Для качественной характеристики систем и процессов используют понятия «лучше» или «хуже». Количественные характеристики часто называют параметрами. Для оценки эффективности процесса связи чаще пользуются понятием показателя эффективности.

Показатель эффективности (или просто показатель) – характеристика, функция характеристик или правило, выбранное для оценки некоторого свойства объекта или совокупности его свойств. Показатели разделяют на количественные и качественные. Пример: своевременность связи может оцениваться такими показателями, как вероятность своевременной передачи сообщений и среднее время пребывания сообщения в канале связи.

Количественные показатели выражаются в виде функции от параметров объекта и определяют абсолютную или относительную (доля, часть) числовую меру проявления свойства или совокупности свойств.

Качественные или порядковые показатели оперируют понятиями какой-либо установленной шкалы суждений, отражающей количественные предпочтения (типа: хуже, лучше, больше, меньше и т. п.), либо балльной шкалы или шкалы весовых коэффициентов.

Оценка эффективности процесса связи напрямую связана с ответом на вопрос: «В какой степени достигнута требуемая эффективность?» Для ответа на этот вопрос используют понятие критерия.

Критерий (эффективности) – это признак, правило, мера суждения, на основании которых проводится оценка или классификация чего-либо. Критерий может быть абсолютным или относительным.

Абсолютный критерий выражает предельную меру достигаемого эффекта для сравнительной оценки возможных альтернативных решений.

Относительный критерий – норма оценки показателя для достижения требуемой эффективности. Практика показывает, что не всегда экономически целесообразно достигать максимальных или оптимальных критериальных значений. В таких случаях устанавливают целесообразную величину требований к показателям.

Требование – это установленный количественный уровень значения характеристики или показателя оцениваемого объекта, либо высказывательная форма, устанавливающая его качественное соответствие поставленным целям или решаемым задачам.

Таким образом, под эффективностью связи (системы связи) будем понимать ее свойство соответствовать цели функционирования, а под качеством связи – свойство, характеризующее способность обеспечивать своевременную, достоверную и безопасную передачу сообщений.

Своевременность (оперативность) связи – способность обеспечивать передачу или доставку сообщений или ведение переговоров в заданные сроки. Оценивается вероятностью того, что сообщение будет полностью доставлено требуемому адресату в течение заданного времени.

Пропускная способность системы связи – способность системы связи, определяющая объем сообщений, передаваемых и обрабатываемых системой связи за единицу времени.

Достоверность связи характеризует способность системы связи обеспечить воспроизведение переданных сообщений в пунктах приема с заданной точностью. Достоверность передачи цифровых сообщений определяется вероятностью правильного приема кодовых комбинаций первичного кода, соответствующих переданным символам.

Безопасность связи – способность обеспечивать сохранение в тайне содержания передаваемых сообщений и факта их передачи.

Помехоустойчивость связи – способность системы выполнять прием/передачу сообщений в условиях действия помех (как преднамеренных, так и естественных). Как правило, для количественной оценки помехоустойчивости используют критерий достоверности передачи сообщений.

Электромагнитная совместимость связи – способность функционировать с заданным качеством в условиях воздействия непреднамеренных электромагнитных помех и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим системам связи.

Надежность связи – свойство системы связи выполнять передачу сообщений, сохраняя при этом в течение заданного промежутка времени значение эксплуатационных показателей в пределах, соответствующих условиям войсковой эксплуатации, технического обслуживания, восстановления и ремонта. Количественные характеристики надежности: вероятность отказа в заданном интервале времени, время наработки на отказ.

Готовность (к работе) элемента системы связи – состояние элемента системы связи, характеризующее степень его готовности к выполнению своих функций по обеспечению заданных связей.

Функциональная совместимость системы связи – способность обеспечивать совместную работу между собой или с другими системами по обмену информацией без дополнительных сопрягающих устройств.

8.2. Показатели надежности

Описание системы управления можно рассматривать на двух уровнях. Элементами описания первого уровня являются средства контроля и управления телекоммуникационной системы и сеть служебных каналов передачи информации контроля и управления

(например, сеть общих каналов сигнализации – ОКС). Первый уровень системы представляется в виде взвешенного графа управления $G(y)$, вершинам которого соответствуют средства контроля и управления телекоммуникационной системы, ребрам – служебные каналы, а веса вершин и ребер определяются техническими и стоимостными характеристиками системы управления. Элементами описания второго уровня являются функции управления телекоммуникационной системой.

Основным назначением любой телекоммуникационной системы является обеспечение требуемого качества обслуживания ее абонентов. Обслуживание заключается в реализации их требований на передачу и получение информации. Требования абонентов (потребность в телекоммуникационных услугах) характеризуются потоком заявок на обслуживание. Показатель качества обслуживания выражается либо через интенсивность отказов (частоту отказа в обслуживании поступающих вызовов), либо через среднюю задержку в обслуживании. Отказы и задержка в обслуживании обусловлены ограниченностью ресурсов телекоммуникационной системы. В этом случае особая роль в телекоммуникационных системах отводится управлению.

Управление системой есть процесс формирования эффективного (с точки зрения принятого критерия эффективности) функционирования системы.

Под изменением характера нагрузки обычно понимается как изменение абсолютной величины нагрузки (увеличение или уменьшение среднего числа заявок на обслуживание), так и изменение относительных величин требований на передачу по отдельным направлениям. Как правило, существует детерминированная и случайная составляющие изменения нагрузки. Из общего характера предъявляемой к обслуживанию нагрузки следуют две функции управления телекоммуникационной сетью – управление нагрузкой, поступающей в сеть, и управление потоками нагрузки в сети (рис. 8.1).

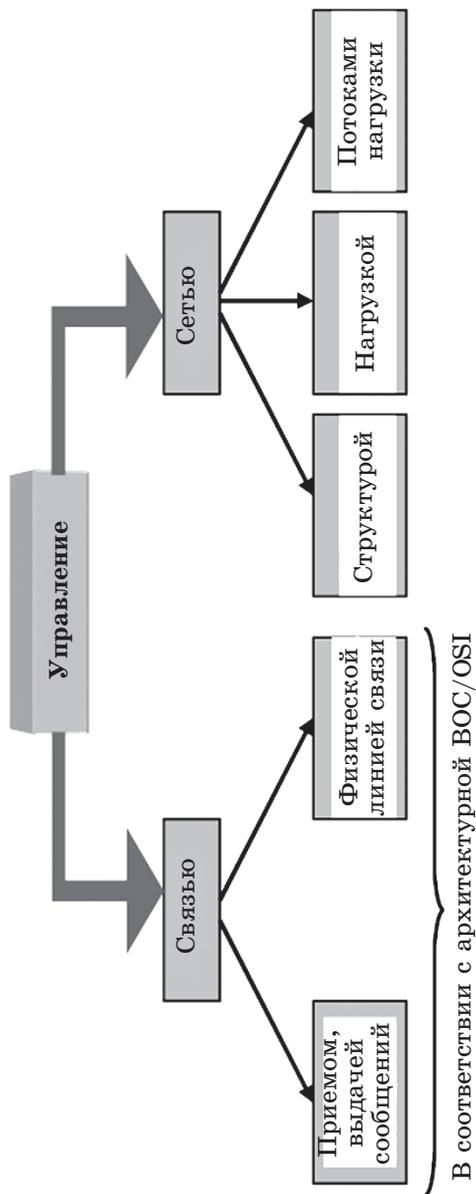


Рис. 8.1. Структура системы управления телекоммуникационной сетью

Следует отметить, что способность сети пропускать предъявляемую нагрузку несущественно зависит от характера распределения потоков информации по сети и определяется лишь общим объемом предъявляемой нагрузки. Из этого факта следует, что первоочередной задачей управления сетью является поддержание величины пропускаемой нагрузки в пределах допустимого уровня, и управление потоками нагрузки эффективно выполняется только при выполнении этого условия. Управление потоками нагрузки в сети осуществляется протоколами маршрутизации.

Возможность поражения или отказа отдельных элементов телекоммуникационной системы и существенного возрастания нагрузок в линиях связи вызывает необходимость в управлении структурой сети.

Управление структурой сети – переход от структуры пораженной или перегруженной сети, не обеспечивающей заданных требований на качество связи, к некоторой другой структуре, удовлетворяющей этим требованиям.

Сущность перехода может заключаться в добавлении резервных комплектов канального, коммутационного и абонентского оборудования, в организации транзитов на некоторых узлах для отдельных потоков и др.

В обобщенном виде функции управления телекоммуникационной системой представлены на рисунке 8.1.

8.3. Способы повышения надежности

До недавнего времени основной технологией построения магистральных транспортных сетей связи являлась технология синхронной цифровой иерархии (SDH), позволяющая обеспечивать автономное автоматическое обнаружение неисправностей и резервирование. Однако с течением времени пропускная способность систем SDH оказалась недостаточной для удовлетворения возросших и продолжающих расти потребностей телекоммуникационного рынка. Обеспечение надежности сетей основа-

но на обнаружении отказа и резервировании. Причем в сетях с новыми технологиями восстановление должно производиться за время, не превышающее 50 мс. Современной тенденцией в сетях с программным заданием конфигурации (SDN) является перенос основной нагрузки по повышению надежности с физического на более высокие уровни, вплоть до прикладного. Это соответствует переходу от аппаратного способа резервирования на программный способ. Для борьбы с потерей пакетов в сети (в том числе и в сетях SDN) и нахождения резервных маршрутов используется механизм перемаршрутизации. Во всех случаях решение задачи маршрутизации сводится к проблеме CSP (Constrained Shortest Path) – проблеме построения кратчайших путей с учетом ограничений. В этом методе, решая задачу линейного программирования, отыскивают минимальное значение функции стоимости всех путей, определяемой в виде суммы стоимостей всех формируемых на сети путей при выполнении ограничений по суммарной задержке.

В общем случае все механизмы обеспечения отказоустойчивости подразделяются на два самостоятельных (хотя и имеющих некоторые общие признаки) класса: защитное переключение (или резервирование) и восстановление (или перемаршрутизация).

При защитном переключении резервные схемы типов 1+1 или 1:1 организуют одновременно с рабочим трактом, но в первом случае (схема 1+1) резервные ресурсы непосредственно заняты передачей текущей информации, а во втором (схема 1:1) находятся в «холодном резерве», т.е. схема резервирования подготовлена, но не активирована и подлежащая защите информация по ней не передается.

При восстановлении резервные пропускные способности также могут быть выделены в двух вариантах: либо они расписаны заранее, либо их заранее не выделяют, а подбирают по мере необходимости из доступных на сети свободных (или высвобождаемых для парирования отказа) ресурсов. Основное отличие этих

методов состоит в том, что при защитном переключении производится перевод трафика с основного пути на определенный фиксированный обходной путь, тогда как при восстановлении выбор обходного пути выполняется программно по указанному в таблице адресу, но на основе сведений о существующем на данный момент состоянии сети, т.е. динамически.

8.4. Техническое обслуживание систем передачи

Стандартное техническое обслуживание предусматривает:

- поддержку качественных характеристик каналов и трактов на уровне норм, соответствующих требованиям международных стандартов;
- плановый технический осмотр линейно-кабельных сооружений и оборудования сети телекоммуникации;
- автоматический мониторинг состояния волоконно-оптической сети телекоммуникации, включая оборудование последней мили;
- постоянный автоматизированный контроль коэффициента ошибок по каналу или тракту без перерыва связи;
- измерения характеристик канала связи по заявке клиента с перерывом связи и выводом канала из обслуживания;
- техническую помощь при подключении оборудования к сети связи, в процессе ее настройки и изменения конфигурации;
- выезд специалистов в случае аварийной ситуации на место аварии и ликвидация ее последствий в течение 6–8 часов с момента возникновения (365 дней в году в любое время суток).

Мониторинг сети. Использование интеллектуальных инструментов мониторинга сетевого оборудования, включая высокоскоростные системы передачи, транзитные узлы и оконечное оборудование клиентов, позволяет:



- оперативно реагировать на аварии телекоммуникационной сети, переадресуя потоки вызовов по альтернативным маршрутам;
- обеспечить дистанционный контроль текущего состояния загрузки канала;
- удаленно из единого центра управления производить локализацию и устранение неисправностей.

8.5. Состояние и перспективы развития сетей телекоммуникаций Республики Узбекистан

Сети телекоммуникаций Узбекистана в настоящий момент развиваются в следующих направлениях:

- продолжается активное строительство многокилометровых волоконно-оптических сетей широкополосного доступа по современной технологии для предоставления услуг видеотелефонии, Интернет-телевидения, высокоскоростного Интернета, просмотра каналов HDTV и других, расширяются магистральные и зонные сети телекоммуникаций.

- построено и сдано в эксплуатацию 175 км оптиковолоконных линий связи в направлениях Бойсун–Денов и Ургут–Шахрисабз;

- емкость международных коммуникационных центров увеличено в 2 раза;
- пропускная способность Международного центра пакетной коммуникации увеличена в 4 раза, что позволило увеличить скорость соединения с международной сетью Интернет до 40 Гбит/с. Это, в свою очередь, позволяет увеличить число пользователей широкополосного Интернета и снижению тарифов на услуги;
- скорость пользования международными информационными сетями возросла на 61,0% и составила 7780 Мбит/с;
- понизилась стоимость 1 Мб/сек внешнего Интернет-канала;
- для оказания современных телекоммуникационных услуг населению и повышения качества оказываемых услуг на основе технологий нового поколения сетей (NGN) осуществлена модернизация коммутационных станций, эксплуатируемых в местных телекоммуникационных сетях в количестве 292,05 тыс. номеров.

В целях развития услуг мобильной связи, в частности, организации передачи широкополосных данных через мобильную сеть стандарта CDMA, установлено 140 базовых станций и построено 5 коммутационных центров. В результате данного проекта количество населенных пунктов, где оказываются услуги через мобильную сеть, достигло 8 440, уровень охвата населения сетью достигло 71%.

На сегодняшний день со стороны филиала «ТШТТ» проложено 598,8 км волоконно-оптических линий связи до 2075 зданий. В 873 зданиях города Ташкента создана возможность оказания услуг населению с емкостью 22 344 портов на основе технологии FTTB.

В рамках проекта «Соединение колледжей отрасли ИКТ и других отраслей в Национальную сеть «Электронное образование» Республики Узбекистан», в 2013–2014 годах 200 профессиональных колледжей системы высшего и средне-специального образования

Узбекистана подключены в Национальную сеть «Электронное образование».

В ежегодном докладе «Анализ состояния и перспектив развития Интернета в Республике Узбекистан» были выявлены следующие проблемы:

Недостаточный уровень прозрачности и эффективности деятельности национального оператора связи АК «Узбектелеком», которая является единственным провайдером Интернета 1 уровня и владельцем основных транспортных сетей передачи данных по стране.

Одна точка выхода в международные сети передачи данных и чрезмерная централизация контроля над доступом в глобальную сеть.

Очень большое различие в уровнях проникновения Интернета в столице и регионах республики и неэффективность финансирования расширения сетей связи.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каковы показатели надежности работоспособности телекоммуникационных систем?
2. Каковы способы повышения надежности телекоммуникационных систем?
3. Какие существуют критерии техобслуживания телекоммуникационных систем передачи?
4. Каковы перспективы развития телекоммуникаций в Республике Узбекистан?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одной из важнейших проблем телекоммуникационных сетей продолжает оставаться проблема абонентского доступа к сетевым услугам, актуальность которой определяется в первую очередь бурным развитием сети Интернет и широким использованием корпоративных сетей с распределенными ресурсами и задачами на ее основе. Доступ к услугам такой сети требует резкого увеличения пропускной способности сетей абонентского доступа. В свою очередь, любая информационная услуга для качественного ее предоставления определяет свои требования к каналу передачи информации.

Для привлечения большего числа пользователей национальными операторами активно разворачивается создание сетей доступа к своим магистральным сетям. Основным препятствием при этом является наличие огромного числа морально и физически устаревших сетей доступа. Поэтому чрезвычайно актуальной является задача их реализации на основе самых современных высокоскоростных технологий с минимальными затратами при строительстве и монтаже оборудования.

В данном учебном пособии, наряду с рассмотрением основ теории сетей связи и традиционно используемых технологий передачи информации, значительное внимание было уделено принципам реализации высокоэффективных цифровых оптических линий связи. Комплексное совместное использование всего спектра существующего сетевого оборудования и сетевых технологий различных поколений как никогда актуально

в условиях реализации концепции построения современных мультисервисных сетей.

Авторы выражают надежду, что данное пособие поможет широкому кругу заинтересованных читателей в освоении теоретических основ телекоммуникационных сетей и сформирует базис для углубленного изучения современных сетевых технологий передачи данных.

СОКРАЩЕНИЯ

ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line – асимметричная цифровая абонентская линия

APON – ATM Passive Optical Network – пассивная оптическая сеть стандарта ATM

ARP – Address Resolution Protocol – протокол разрешения адресов

AT – абонентский (пользовательский) терминал

ATM – Asynchronous Transfer Mode – асинхронный метод передачи

BPL – Broadbandover Power Lines – широкополосная передача через линию электропередачи

BPON – Broadband Passive Optical Network – широкополосная пассивная оптическая сеть

BPSK – Binary Phase-shift Keying – двоичная фазовая манипуляция

BRAS – Broadband Remote Access Server – сервер широкополосного доступа

CAP – Carrierless AM – амплитудно-фазовая модуляция без несущей

CC – Country Code – телефонный код страны

CDMA – Code Division Multiple Access – множественный доступ с кодовым разделением

CDSL – Consumer Digital Subscriber Line – стандарт абонентской цифровой линии

CiDSL – Consumer installable Digital Subscriber Line – доступ по абонентской цифровой линии

CISC – Complicated Instruction Set Computer – архитектура вычислительной системы, реализующая полную систему команд

CSMA/CA – Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance – множественный доступ с контролем несущей и избеганием коллизий

CSMA/CD – Carrier-Sense Multiple Access with Collision Detection – множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий

DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol – протокол автоматического назначения конфигурации

DMT – Discrete Multi Tone – передача по нескольким несущим

DN – Directory Number – местный абонентский номер

DOCSIS – Data over Cable Service Interface Specification – стандарт передачи данных по коаксиальному (телевизионному) кабелю

DPSK – Differential Phase Shift Keying – дифференциальная фазовая манипуляция

DSL – Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия

DSLAM – Digital Subscriber Line Access Multiplexer – мультиплексор доступа цифровой абонентской линии xDSL

DTM – Dynamic synchronous Transfer Mode – динамический режим синхронной передачи

DVB-C – Digital Video Broadcasting-Cable – цифровое кабельное видеовещание

DVB-S – Digital Video Broadcasting-Satellite – цифровое спутниковое видеовещание

EPON – Ethernet Passive Optical Networking – пассивная оптическая сеть Ethernet

ESCON – Enterprise Systems Connection – соединение учреждений систем (с базами данных, серверами)

ETSI – European Telecommunications Standards Institute – Европейский институт по стандартизации в области телекоммуникаций

FDD – Frequency-Division for Duplex – частотное мультиплексирование каналов для обеспечения дуплексной связи

FDDI – Fiber Distributed Data Interface – распределенный волоконный интерфейс данных

FDM – Frequency-Division Multiplexing – мультиплексирование каналов частотное

FEC – упреждающая коррекция ошибок

FICON – Fiber Connection – волоконное соединение для передачи данных

FITB – Fiber In The Building – организация распределительной сети внутри здания

FTP – File Transfer Protocol – протокол передачи файлов

FTTB – Fiber To The Building – доведение волокна до здания

FTTC – Fiber To The Curb – доведение волокна до кабельного шкафа

FTTCab – Fiber To The Cabinet – доведение волокна до кабельного шкафа (аналог FTTC)

FTTH – Fiber To The Home – доведение волокна до квартиры

FTTN – волокно до узла

FTTO – Fiber To The Office – доведение волокна до офиса

FTTOpt – Fiber To The Optimum – доведение волокна до оптимального пункта

FTTP – Fiber To The Premises – доведение волокна до точки присутствия клиента

FTTR – Fiber To The Remote – доведение волокна до удаленного модуля, концентратора

G.Lite – вариант ADSL, не требующий установки комбинированного электрического фильтра для частотного разделения каналов на стороне пользователя
G.SHDSL – Single-pair High-speed digital subscriber line – цифровая абонентская линия, обеспечивающая симметричную дуплексную передачу данных сигнала по паре медных проводников

GEAPON – Gigabit Ethernet Passive Optical Network – пассивная оптическая сеть Gigabit Ethernet

GFP – Generic Framing Procedure – процедура формирования общего кадра

GMPLS – Generalised MPLS – протокол обобщенной коммутации по меткам

GPON – Gigabit PON – пассивная оптическая сеть со скоростью от 1 Гбит/с

HDLC – High-level Data Link Control – протокол управления каналом высокого уровня

HDSL – High Bit-Rate Digital Subscriber Line – высокоскоростная цифровая абонентская линия

HDTV – High-Definition Television – телевидение высокой четкости

HFC – Hybrid Fiber Coaxial – гибридная сеть кабельного телевидения

HPNA – Home Phoneline Networking Alliance – объединенная ассоциация некоммерческих промышленных компаний

IDSL – ISDN Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия для одной пары проводов, используемой для передачи сигналов ISDN

IP – Internet Protocol – межсетевой Интернет-протокол

IPX – Internet Packet eXchange – межсетевой обмен пакетами

iSCSI – internet Small Computer System Interface – протокол для установления взаимодействия и управления системами хранения данных, серверами и клиентами

ISDN – Integrated Services Digital Network – цифровые сети с интеграцией служб

ISO – International Organization for Standardization – международная организация по стандартизации

ISP – Internet Service Provider – провайдеры услуг Интернета

ITU-T – International Telecommunication Union – Telecommunication sector – сектор стандартизации электросвязи Международного союза электросвязи

LAN – Local Area Network – локальные сети

LIFO – Last In – First Out – режим очереди «последним пришел, первым ушел»

LLC – Logical Link Control – контролер обслуживания сетевого уровня

LLU – Local Loop Unbundling – отделение абонентских линий

LMDS – Local Multipoint Distribution System – локальная многоточечная система распределения

LTE – Long Term Evolution – «долговременное развитие» – стандарт усовершенствования технологий мобильной передачи данных CDMA, UMTS

LTU – Line Terminal Unit – оборудование на абонентском узле

MAC – Media Access Control – контролер доступа к разделяемой физической среде

MCNS – Multimedia Network System Partners Ltd – организация операторов кабельных сетей Северной Америки

MMDS – Multichannel Microwave Distribution System – многоканальная микроволновая система распределения

MPEG-2 – Moving Picture Experts Group – видео-и аудиостандарт для широкоэмитательного телевидения

MPLS – Multi-Protocol Label Switching – многопротокольная коммутация по меткам

MVDS – Multipoint Video Distribution System – многоточечная система распределения телевизионных программ

MVL – Multiple virtual Line – многопользовательская виртуальная абонентская линия

NDC – National Destination Code – междугородный телефонный код

NFS – Network File System – протокол доступа к сетевым файловым системам

NGN – Next/New Generation Network – сети связи следующего/нового поколения

N-ISDN – Narrowband Integrated Services Digital Network – узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб

NPL – Narrowband over Power Lines – узкополосная передача через линии электропередачи

NTU – Network Terminal Unit – сетевое абонентское оборудование

OAN – Optical Access Networks – оптические сети доступа

OFDM – Orthogonal frequency-division multiplexing – мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов

OLT – Optical Line Terminal – терминал (абонент) оптической линии

ONT – Optical Network Terminal – терминал центрального узла

ONU – Optical Network Unit – модуль центрального узла

OSI – Open System Interconnections – модель взаимодействия открытых систем

PAM – Pulse Amplitude Modulation – амплитудно-фазовая модуляция

PDH – Plesiochronic Digital Hierarchy – плезиохронная цифровая иерархия

PDSL – Power Digital Subscriber Line – цифровой абонентский доступ по линии электропередачи

PLC – Power line communication – обмен данными по линии электропередачи

PON – Passive Optical Network – пассивная оптическая сеть

PPP – Point-to-Point Protocol – протокол доступа «точка – точка»

PPPoA – Point-to-Point Protocol over ATM – метод доступа с использованием протокола «точка – точка» поверх сети ATM

PPPoE – Point-to-Point Protocol over Ethernet – метод доступа с использованием протокола «точка – точка» поверх сети Ethernet

PSTN – Public Switched Telephone Network – телефонная опорная сеть

QAM – Quadrature Amplitude Modulation – квадратурно-амплитудная модуляция

QoS – Quality of Service – качество обслуживания
QPSK – Quadrature Phase Shift Keying – квадратурно-фазовая манипуляция

RADIUS – Remote Authentication Dial In User Service – сервер аутентификации пользователей

R-ADSL – Rate-Adaptive Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия с адаптацией скорости соединения

RA-HDSL – Rate Adaptive HDSL – цифровая абонентская линия со ступенчатой регулировкой скорости

RLL – Run Length Limited – код с ограничением длины серий

RPR – Resilient Packet Ring – протокол пакетного кольца с самовосстановлением

SANs – Storage Area Networks – сети хранения данных (серверы услуг, базы данных)

SDH – Synchronous Digital Hierarchy – синхронная цифровая иерархия

SEC – Symmetrical Echo cancellation – симметричная передача с эхоподавлением

SECAM – Séquentiel couleur a mémoire, фр. последовательный цвет с памятью; система аналогового цветного телевидения

SHDSL – Single-pair High-speed DSL – симметричная передача данных сигнала по паре медных проводников

SMATV – Satellite Master Antenna TV – телевизионная система коллективного пользования

SN – Subscriber Number – зонный номер абонента

SONET – Synchronous Optical Networking – синхронная цифровая иерархия

SSL – Secure Socket Layer – протокол секретного обмена сообщениями

STM – Synchronous Transfer Mode – синхронный режим передачи

STP – Shielded Twisted Pair – экранированная витая пара

SVC – Switched Virtual Circuits – перекоммутируемые виртуальные каналы

TC PAM – Trellis Coded Pulse Amplitude Modulation – импульсная амплитудная модуляция с треллис-кодированием

TCP – Transmission Control Protocol – протокол управления передачей

TDD – Time Division Duplex – дуплексный канал с временным разделением

TDMA – Time Division Multiple Access – множественный доступ с разделением по времени

TFTP – Trivial File Transfer Protocol – простой протокол передачи файлов

TMUX – Trans Multiplexor – трансмультиплексор

UMTS – Universal Mobile Telecommunicatins System – универсальная мобильная телекоммуникационная система

UTP – Unshielded Twisted Pair – неэкранированная витая пара

VC – Virtual Circuit – виртуальный канал

VDSL (VHDSL) – Very High Bit-Rate Digital Subscriber Line – сверхвысокоскоростная цифровая абонентская линия

VoATM – Voice over ATM – одновременная передача данных и голоса через ATM

VOD – Video on Demand – видео по запросу

VoDSL – Voice over DSL – одновременная передача данных и голоса в цифровом виде

VoIP – Voice over IP – одновременная передача данных и голоса через ATM

WAN – Wide Area Network – глобальные сети

WDM – wavelength division multiplexing – система оптического уплотнения по длине волны

WiMAX – Worldwide Interoperability for Microwave Access – телекоммуникационная технология

WLL – Wireless Local Loop – технологии беспроводного абонентского доступа

АКМ – абонентский кабельный модем

АЛ – абонентская (пользовательская) линия

АМ – амплитудная модуляция
АМТС – автоматическая междугородная телефонная станция
АМ-ЧПБ – амплитудная модуляция с частично подавленной боковой полосой
АСК – аналоговая система коммутации
АСП – аналоговые системы передачи
АТС – автоматическая телефонная станция
АЦП – аналого-цифровой преобразователь
БС – базовая станция
ВОЛС – волоконно-оптические линии связи
ВОСПИ – волоконно-оптическая система передачи информации
ВСС – взаимоувязанная сеть связи
ГС – головная станция
ГТС – городская телефонная сеть
ДРС – домовая радиорелейная сеть
ДТР УКВ – дальнейшее тропосферное распространение ультракоротких волн
ДЦВ – дециметровые волны
ЗСЛ – заказно-соединительная линия
ИКМ – импульсно-кодовая модуляция
ИСЗ – искусственный спутник Земли
КВЧ – крайне высокие частоты
КК – коммутация каналов
КС – коммутация сообщений
КТВ – кабельное телевидение
ЛЭП – линия электропередачи
МСЭ-Т – сектор стандартизации электросвязи
ОАТС – оконечные автоматические станции
ОВ – оптическое волокно
ОВЧ ЧМ – организация телевизионного и звукового радиовещания с частотной модуляцией
ОК – оптический кабель
ОКС – общий канал сигнализации
ОНЧ – очень низкие частоты
ОС – оконечная станция
ОТАТС – оконечно-транзитные телефонные станции

ОЦК – основной цифровой канал
ПЗС – прибор с зарядовой связью
ПК – персональный компьютер
ППВ – предел прямой видимости
ПРД – передатчик
ПСП – псевдослучайная последовательность
ПЦИ – плезиохронная цифровая иерархия
ПЦК – первичный цифровой канал
ПЦС – плезиохронные цифровые системы
РАТС – районная АТС
РРЛ – радиорелейная линия
РРС – радиорелейная станция
РТПС – радиотелевизионная передающая станция
РЭБ – радиоэлектронная борьба
РЭП – радиоэлектронное противоборство
САД – сеть абонентского доступа
СВЧ – сверхвысокие частоты
СКД – сети коллективного доступа
СКМ – стационарный кабельный модем
СКТВ – система кабельного телевидения
СЛМ – соединительная линия междугородная
СПД – сеть передачи данных
СРП – сборщик-разборщик пакетов
СТМ – синхронный транспортный модуль
СТС – сельская телефонная сеть
СЦИ – синхронная цифровая иерархия
ТГ – тактовый генератор
ТКС – телекоммуникационная сеть
ТС – транспортная сеть
ТУ – транзитный узел
ТфОС – телефонная опорная сеть
ТфОП – телефонная сеть общего пользования
ТЧ – канал тональной частоты
УАК – узел автоматической коммутации
УВС – узел входящих сообщений
УВЧ – ультравысокие частоты
УИВС – узел исходящих и входящих сообщений
УИС – узел исходящих сообщений

УК – узел коммутации
УС – узловая станция
У-ЦСИС – узкополосная цифровая сеть с интеграцией служб
ЦАЛ – цифровые абонентские линии
ЦАП – цифро-аналоговый преобразователь
ЦКП – центр коммутации пакетов
ЦСИО – цифровая сеть интегрального обслуживания
ЦСИС – цифровые сети с интеграцией служб
ЦСИУ – цифровые сети с интеграцией услуг
ЦСК – цифровая система коммутации
ЦСП – цифровые системы передачи
ЦТВП – цифровая телевизионная приставка
ЧИМ – частотно-импульсная модуляция
ЧМ – частотная модуляция
ШИМ – широтно-импульсная модуляция
ШПД – широкополосный доступ
ШПС – широкополосный сигнал
ЭВМ – электронная вычислительная машина
ЭМС – электромагнитная совместимость

ТЕСТЫ

1. Что такое информация?

А. Информация – это то, что мы видим или слышим.

Б. Под информацией понимают изображения, тексты или цифры.

В. Под информацией понимают сведения о каких-либо событиях, фактах или предметах.

С. Под информацией понимают сведения, которые передаются по каналам связи.

2. Что такое «сообщение»?

А. Под сообщением понимают все, что воспринимается человеком зрительно и слуховыми органами.

Б. Это звуковые колебания и изображения.

В. Это звуковые колебания, создаваемые человеком.

С. Сообщение – это форма выражения (представления) информации.

3. Что такое данные?

А. Это сообщения, предназначенные для обработки в ЭВМ.

Б. Это все, что подлежит для передачи по каналам связи.

В. Это цифры и буквы, подлежащие передачи по каналам связи.

С. Это информация, которая передается по каналам связи.

4. Что понимают под термином «сигнал»?

А. Это отображение передаваемого сообщения по каким-либо его признакам.

Б. Это вид информации, передаваемой по каналам связи.

В. Это физический процесс, отображающий передаваемое сообщение.

С. Это вид сообщений, передаваемых по каналам связи.

5. Что такое спектр сигнала?

А. Это отдельные составляющие гармонических колебаний, отображающие сообщения.

Б. Это совокупность гармонических составляющих сигнала.

В. Это отдельные составляющие гармонических колебаний, отображающие данные.

С. Это совокупность гармонических колебаний сообщений любого вида.

6. Какими основными параметрами характеризуется электрический сигнал?

А. Длительностью, шириной спектра, динамическим диапазоном частот.

Б. Длительностью, шириной спектра, динамическим диапазоном.

В. Длительностью, шириной спектра, диапазоном частот и мощностью сигнала.

С. Спектром частот, мощностью сигнала и энергетическим спектром.

7. Какие бывают электрические сигналы?

А. Аналоговые и непрерывные.

Б. Аналоговые и дискретные.

В. Аналоговые и импульсные.

С. Дискретные и импульсные.

8. Чем отличаются дискретные сигналы от цифровых?

А. Спектром частот.

Б. Диапазоном частот.

В. Передачей информации в виде дискретных отсчетов.

Д. Передачей сообщений с использованием двоичной системы счисления.

9. Какой сигнал называется непрерывным сигналом?

А. Сигнал, принимающий любые значения в некотором интервале.

Б. Сигнал, принимающий любые значения в некотором диапазоне частот.

В. Сигнал, принимающий любые мгновенные значения в некотором интервале.

С. Сигнал, принимающий любые значения.

10. Какой сигнал называется дискретным?

А. Это сигнал, имеющий отсчетные значения.

Б. Это электрический сигнал периодически повторяющихся серии импульсов.

В. Это сигнал, имеющий определенные значения в некотором интервале частот.

С. Это сигнал с определенными значениями в некотором интервале частот.

11. Дайте определение понятию *канал связи*.

А. Каналом связи называется совокупность каналов и трактов связи.

Б. Каналом связи называется совокупность каналов и станций, обеспечивающих установление соединения.

В. Каналом связи называется совокупность средств, обеспечивающих передачу сигнала от некоторой точки А системы связи до точки В.

С. Каналом связи называется совокупность групповых каналов и групповых трактов.

12. Какой канал называется аналоговым (непрерывным)?

А. Это канал, по которому передается сигнал с большой скоростью.

Б. Канал, при котором входные и выходные сигналы являются непрерывными.

В. Это канал, по которому передается непрерывный сигнал.

С. Канал, при котором входные сигналы являются непрерывными в заданном интервале частот.

13. Чем отличается многоканальная система связи от одноканальной?

А. Одновременной передачей независимых друг от друга большого числа электрических сигналов.

Б. Количеством передаваемых электрических сигналов по одному каналу связи.

В. Количеством передаваемых электрических сигналов по нескольким каналам связи.

С. Передачей независимых друг от друга большого числа каналов.

14. Что называется групповым трактом?

А. Совокупность технических средств, обеспечивающих прохождение группового сигнала в системе связи.

Б. Совокупность каналов, групповых каналов связи и станций связи, обеспечивающих прохождение сигналов связи.

В. Совокупность каналов, линий связи и станций, обеспечивающих одновременное прохождение сигналов связи.

С. Совокупность технических средств, обеспечивающих прохождение группового сигнала в многоканальной системе.

15. Что можно отнести к типовым каналам и типовым групповым трактам?

А. Каналы и групповые тракты, которые имеют идентичные характеристики.

Б. Каналы и групповые тракты, параметры которых нормализованы.

В. Все ответы верны.

С. Каналы и групповые тракты, характеризующиеся определенными показателями.

16. Что понимают под сетью связи?

А. Сеть связи – это совокупность каналов, групповых трактов, станций и узлов связи, расположенных на определенной территории.

Б. Сеть связи – это совокупность типовых каналов и типовых трактов, соединенных между собой для передачи сообщений.

В. Сеть связи – это совокупность узлов связи, конечных пунктов и линий (каналов) связи, расположенных на одной территории.

С. Сеть связи – это совокупность типовых каналов и типовых трактов, станций, соединенных между собой для передачи информации.

17. Что представляют собой сети ЕАСС?

А. Сети ЕАСС – это сети, состоящие из линий, каналов связи, конечных станций и транзитных узлов.

Б. Сети ЕАСС – это сети, организованные на одной определенной территории.

В. Сети ЕАСС – это комплекс технических средств, образующих первичные и вторичные сети.

С. Сети ЕАСС – это сети, организованные на разных территориях.

18. Как образуются первичные сети?

А. Из типовых каналов связи и групповых трактов.

- Б. Из каналов, трактов связи.
- В. Из оконечных пунктов и линий связи.
- С. Из оконечных пунктов, линий связи и транзитных узлов.

19. По какому признаку разделяются вторичные сети?

- А. По скорости передаваемых по ним сообщений.
- Б. По объёму передаваемых по ним сообщений.
- В. По достоверности передаваемых по ним сообщений.
- С. По виду передаваемых по ним сообщений.

20. Что представляют собой местные первичные сети?

- А. Сельские телефонные сети.
- Б. Только городские телефонные сети.
- В. Городские и сельские телефонные сети.
- С. Телефонные сети, соединяющие районные центры между собой.

21. Как формируются вторичные сети?

- А. На базе каналов, линий, трактов, групповых сигналов и станций.
- Б. На базе типовых линий и типовых узлов связи первичной сети.
- В. На базе типовых каналов и типовых трактов первичной сети.
- С. На базе типовых каналов, типовых узлов и типовых станций.

22. Что представляют собой внутризоновые первичные сети?

- А. Это часть сети, охватывающая часть территории эксплуатируемой сети и обеспечивающая соединение каналов разных местных сетей внутри одной зоны.

Б. Это часть сети, принадлежащая территории рассматриваемой сети и обеспечивающая соединение каналов разных местных сетей внутри одной зоны.

В. Это часть сети, охватывающая территорию зоны и обеспечивающая соединение между собой каналов разных местных сетей внутри одной зоны.

С. Это часть сети, охватывающая городские телефонные сети и обеспечивающая соединение каналов разных местных сетей внутри одной зоны.

23. Что представляют собой магистральные первичные сети?

А. Это часть сети, охватывающая разные зонные сети.

Б. Это часть сети, соединяющая между собой каналы разных зонных сетей на всей территории страны.

В. Это часть сети, соединяющая между собой типовые каналы, типовые тракты и типовые узлы.

С. Это часть сети, охватывающая различные местные сети, типовые каналы, типовые тракты и узлы.

24. Что включает в себя телефонный тракт?

А. Линии связи, каналы и станции.

Б. Телефонные аппараты, линейные устройства и станции.

В. Линии связи, групповые каналы и станции.

С. Линии связи, групповые тракты и станции.

25. Из каких узлов состоит телефонный аппарат?

А. Рычажного переключателя, конденсатора, дифференциального моста и сопротивления.

Б. Рычажного переключателя, разговорного прибора и угольного микрофона.

В. Разговорного прибора, рычажного переключателя, номеронабирателя.

С. Рычажного переключателя, вызывного прибора, разговорного прибора и номеронабирателя.

26. С помощью какого устройства звуковые колебания превращаются в электрические?

- А. Громкоговорителя.
- Б. Угольного микрофона.**
- В. Динамика.
- С. Преобразователя.

27. С помощью какого устройства электрические колебания преобразуются в звуковые?

- А. Телефонного аппарата.
- Б. Громкоговорителя.
- В. Телефонного капсюля.
- С. Телефона.**

28. Что понимается под телефонной коммутацией?

А. Совокупность операций для установления соединения между оконечными абонентскими устройствами с целью передачи телефонного сообщения.

Б. Установление соединения только между двумя абонентами.

В. Соединение различных абонентов.

С. Совокупность операций для установления соединения только между оконечными пунктами.

29. Какие функции выполняет коммутационный узел и коммутационная станция?

- А. Соединение.
- Б. Коммутацию.**
- В. Установление разговора.
- С. Передачу сообщений.

30. Что представляет собой коммутационная система?

А. Совокупность всех коммутационных блоков и ступеней искания узла или станции.

Б. Телефонную станцию.

- В. Телефонный тракт.
- С. Оборудование телефонного тракта.

31. Какие сигналы передаются по телефонному тракту?

- А. Линейные, индукторные.
- Б. Только акустические.
- В. Линейные, управления, акустические.**
- С. Только индукторные.

32. Что называется коммутационным прибором?

А. Устройство, выполняющее только замыкание электрических цепей.

Б. Устройство, обеспечивающее коммутацию – замыкание или размыкание электрических цепей при поступлении в прибор управляющего сигнала.

В. Устройство, выполняющее только размыкание электрических цепей.

С. Устройство, обеспечивающее только замыкание электрических цепей при поступлении в прибор управляющего сигнала.

33. Что принято называть точкой коммутации?

А. Местоположение коммутационного элемента только в коммутационной группе.

Б. Местоположение коммутационного элемента только в коммутационном приборе.

В. Местоположение коммутационного прибора только в коммутационном поле.

С. Местоположение коммутационной группы в коммутационном приборе.

34. Какие виды коммутационных приборов вы знаете?

- А. Передаточные, управления.
- Б. Исполнительные, передаточные.
- В. Управления, исполнительные.**
- С. Только передаточные.

35. К каким видам реле относятся: РПН, РЭС–14, малогабаритные реле?

- А. Электромагнитным.**
- Б. Магнитоэлектрическим.**
- В. Биметаллическим.**
- С. Электронным.**

36. К каким видам реле относятся: герконовое реле, феррид, гезакон?

- А. Электронным.**
- Б. Реле с магнитоуправляемыми контактами.**
- В. Квазиэлектронным.**
- С. Электромеханическим.**

37. К каким видам коммутационных приборов относятся приборы: ШИ–11, ШИ–17, ДШИ–100, МКС?

- А. Электромеханическим.**
- Б. Электронным.**
- В. Квазиэлектронным.**
- С. Электрическим.**

38. Из каких основных устройств состоит автоматическая телефонная станция?

- А. Коммутационное поле, коммутационная группа, абонентские линии.**
- Б. Коммутационное поле, устройство управления, линейные комплекты и станционные комплекты.**
- В. Абонентские линии, станционные комплекты, управляющие устройства.**
- С. Абонентские линии, линейные комплекты, управляющие устройства.**

39. Что представляет собой коммутационное поле АТС?

- А. Совокупность коммутационных групп с N- входами и M-выходами.**

Б. Совокупность коммутационных приборов, создающих коммутационное поле и имеющих только N-входы, состоящих из нескольких ступеней искания, предназначенные для распределения поступающих вызовов между входами и выходами.

В. Совокупность коммутационных приборов, создающих коммутационное поле и имеющих N-входы и M-выходы, состоящие из нескольких ступеней искания, предназначенных для распределения поступающих вызовов между входами и выходами.

С. Совокупность коммутационных приборов, создающих коммутационное поле и имеющих только M-выходы, состоящие из нескольких ступеней искания, предназначенных для распределения поступающих вызовов между входами и выходами.

40. Какие способы управления установления соединением в АТС вы знаете?

- А.** Централизованное и местное.
- Б.** Только централизованное.
- В.** Непосредственное и косвенное (регистраемое).
- С.** Только местное.

41. Какие устройства управления по степени централизации вы знаете?

- А.** Индивидуальные и местные.
- Б.** Только местные.
- В.** Только общие.
- С.** Индивидуальные и общие.

42. Какие способы установления соединением вы знаете?

- А.** Транзитный.
- Б.** Транзитный и обходной.
- В.** Прямой и обходной.
- С.** Прямой и транзитный.

43. Из каких ступеней исканий состоит АТС ДШ?

- А.** ПИ, РИ, ЛИ.

- Б. ГИ, РИ, ЛИ.
- В. ПИ, ГИ, ЛИ
- С. ЛИ, ГИ, РИ.

44. Из каких ступеней исканий состоит АТС КУ?

- А. АК, АИ, ГИ, РИ, АИ.
- Б. АК, ГИ, АМ, РИ.
- В. ГИ, РИ, АИ, АК.
- С. АИ, РИ, ГИ

45. Какой принцип используется для установления соединения в ЭАТС?

- А. Периферийное управление.
- Б. Местное управление.
- В. Общее управление.
- С. Централизованное управление.

46. Как строится коммутационное поле ЭАТС?

- А. Используются коммутационные блоки.
- Б. Используются ступени искания.
- В. Используются коммутационные группы.
- С. Используются коммутационные элементы.

47. Что такое телефонная нагрузка?

- А. Число установленных соединений сетью.
- Б. Среднее число установленных соединений сетью.
- В. Работа, выполняемая телефонной сетью по установлению соединений.
- Д. Среднее число установленных соединений сетью.

48. В каких единицах измеряется нагрузка?

- А. Ампер/час.
- Б. Эрл.
- В. Вольт/час.
- С. Ватт.

49. Что такое ЧНН?

А. Наибольшая нагрузка в сети.

Б. Средняя нагрузка в единицу времени.

В. Наибольшая нагрузка в непрерывном интервале времени в один час.

С. Наибольшая нагрузка от одного абонента.

50. Что такое потери и в каких единицах они измеряются?

А. Среднее число поступивших вызовов в один час, измеряется в процентах.

Б. Число необслуженных вызовов из общего числа всех поступивших только за один час, измеряется в процентах.

В. Число всех необслуженных вызовов, поступивших только за один час, измеряется в процентах.

С. Число необслуженных вызовов из общего числа всех поступивших в единицу времени вызовов, измеряется в промиллях.

Ключи

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
В	С	А	В	Б	Б	Б	Д	В	Б

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
В	Б	А	С	В	В	В	А	С	В

21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
В	В	Б	Б	С	Б	С	А	Б	А

31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
В	Б	С	В	А	Б	А	Б	В	В

41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
С	В	В	С	С	А	В	Б	В	С

**СПИСОК ТИПОВЫХ КАНАЛОВ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ
СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ**

1. Канал тональной частоты (КТЧ) – совокупность технических средств, обеспечивающая передачу сигналов в эффективно передаваемой полосе частот 300–3400 Гц;

2. Канал звукового вещания (высшего класса – 30–15000 Гц; первого класса: 50–10 000 Гц; второго класса: 100–6 300 Гц);

3. Канал передачи сигналов изображения телевидения с полосой частот от 50 Гц до 6 МГц;

4. Канал звукового сопровождения сигналов телевидения (высшего класса: 30–15 000 Гц, 1 класса: 50–10 000 Гц);

5. Типовые групповые аналоговые тракты:

– первичный – 60–108 кГц (12 каналов ТЧ);

– вторичный – 312–552 кГц (60 каналов ТЧ);

– третичный – 812–2044 кГц (300 каналов ТЧ).

6. Типовые каналы передачи цифровых систем передачи:

6.1. основной цифровой канал (ОЦК) с номинальной скоростью передачи 64 кбит/с (канал типа В) – является цифровым эквивалентом канала аналогового канала тональной частоты (ТЧ), так как обеспечивает передачу телефонного сигнала в полосе частот 300–3400 Гц методом импульсно-кодовой модуляции (ИКМ);

6.2. цифровой канал абонентского окончания цифровой сети интегрального обслуживания (ЦСИО-ISDN): $144 \text{ кбит/с} = 2 \cdot 64 \text{ кбит/с} + 16 \text{ кбит/с} = 2B + D$, где D – канал передачи данных;

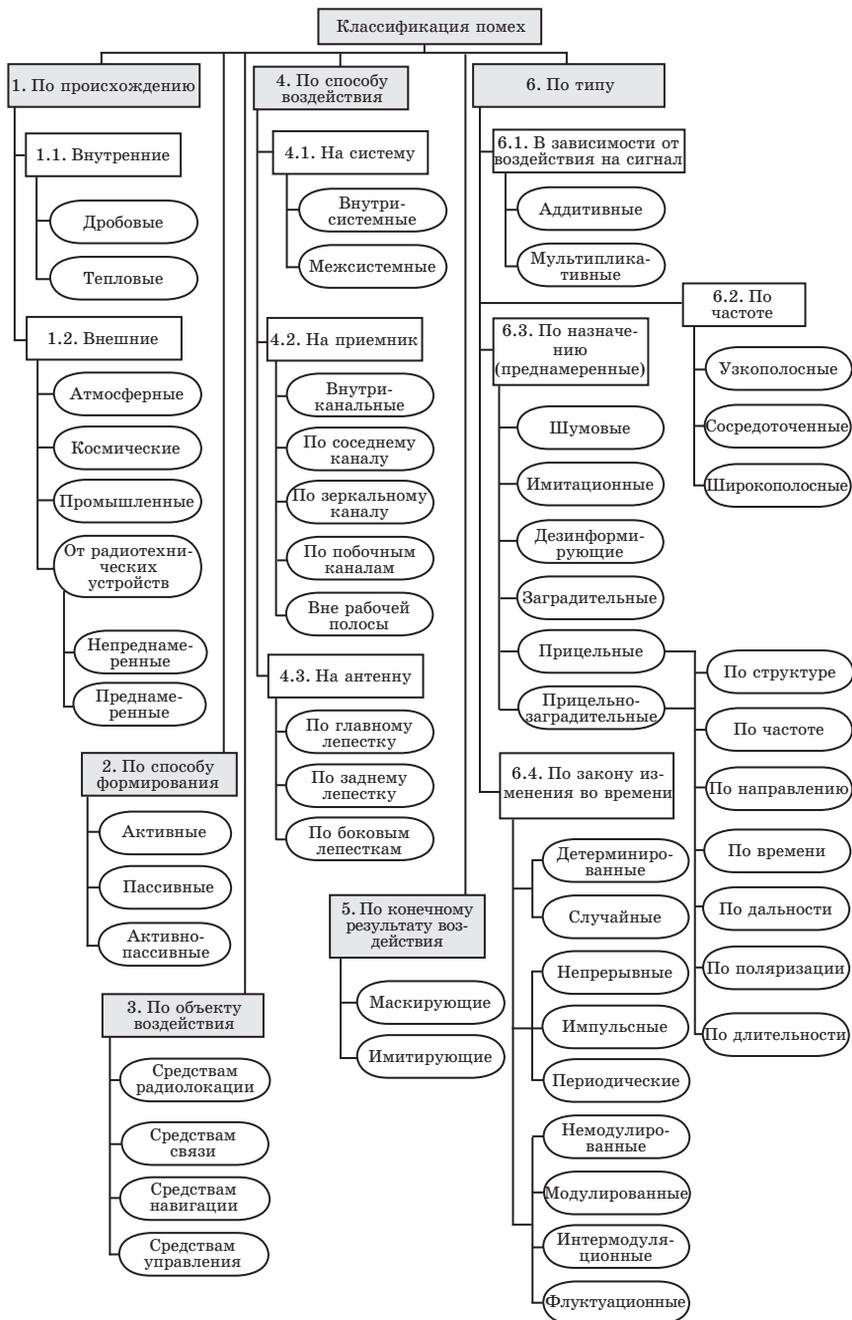
6.3. цифровые тракты плездохронной цифровой иерархии (PDH):

- субпервичный – 0,512 Мбит/с;
- первичный – 2,048 Мбит/с
- вторичный – 8,448 Мбит/с;
- третичный – 34,368 Мбит/с;
- четверичный – 139,264 Мбит/с;

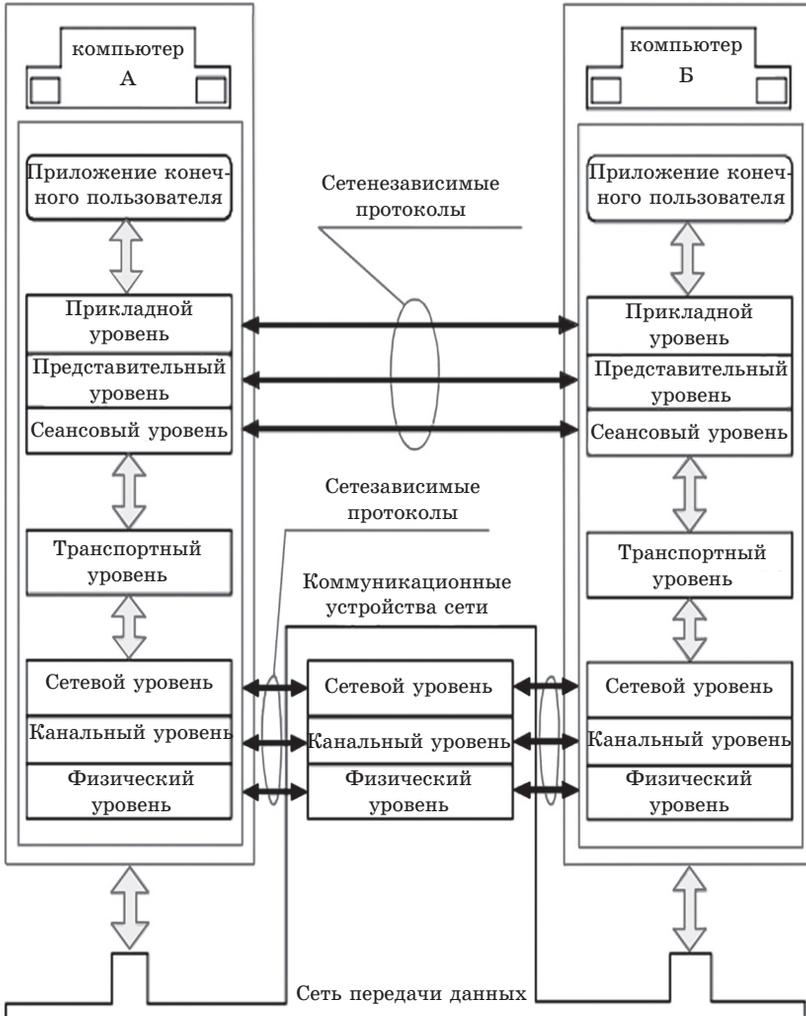
6.4. Цифровые тракты синхронной цифровой иерархии (SDH) – цифровые потоки синхронных транспортных модулей (STM):

- поток STM-1 – 155,52 Мбит/с;
- поток STM-4 – 622,08 Мбит/с;
- поток STM-16 – 2 488,32 Мбит/с;
- поток STM-64 – 9 953,28 Мбит/с;
- поток STM-256 – 39 813,12 Мбит/с.

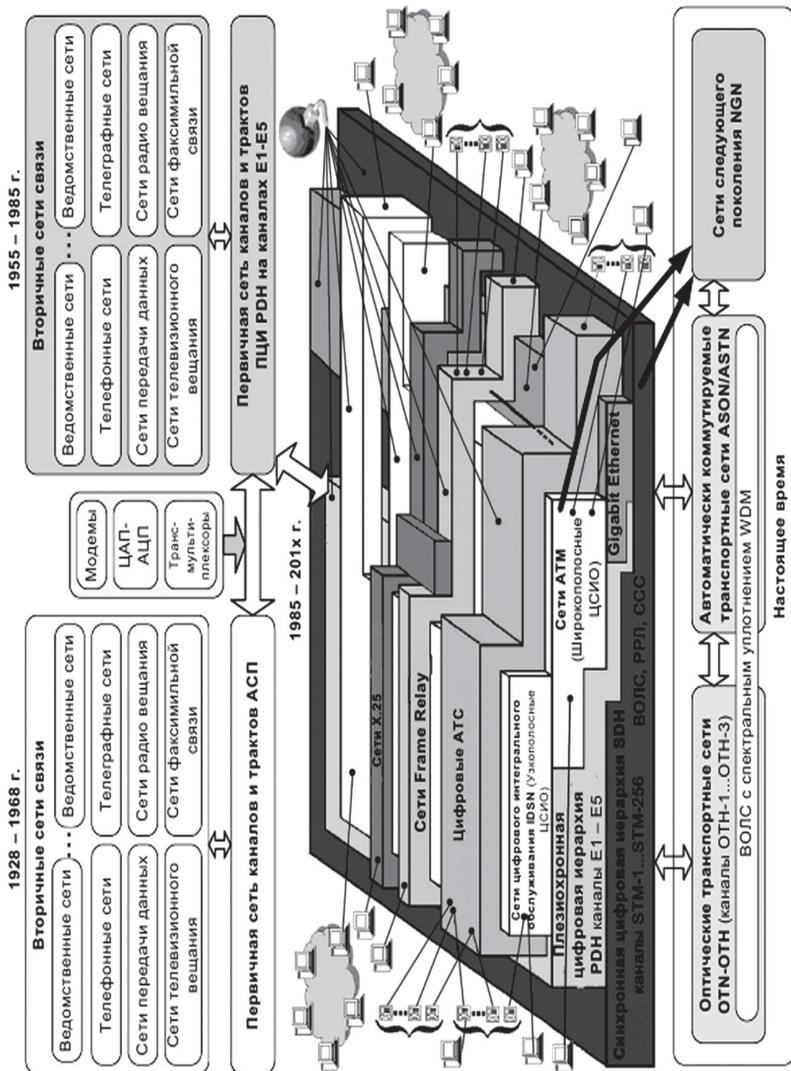
Классификация помех



Модель OSI



Этапы развития сетей телекоммуникаций



РАЗДАТОЧНЫЙ МАТЕРИАЛ

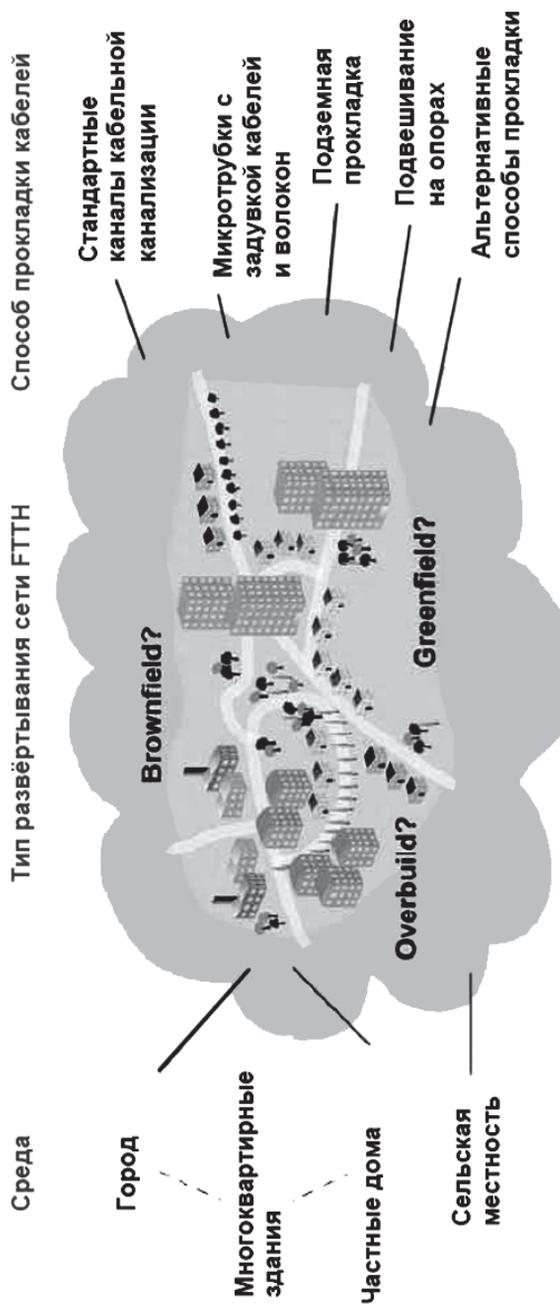


Рис. 1. Тип развёртывания сети FTTH

Архитектура сети ФТТН

Наибольшее распространение получили два способа (топологии) организации сети доступа ФТТН – «точка – много точек» на базе пассивной оптической сети PON и «точка – точка», которая обычно использует Ethernet-технологии.

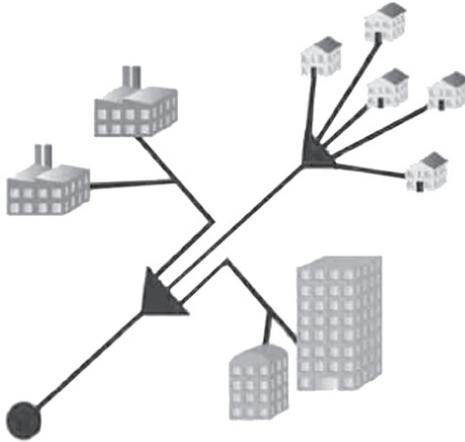


Рис. 2. Пассивная оптическая сеть

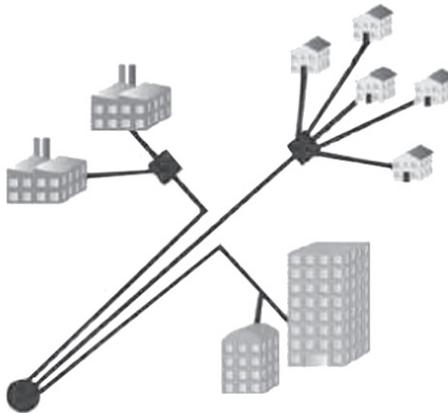


Рис. 3. Активный Ethernet

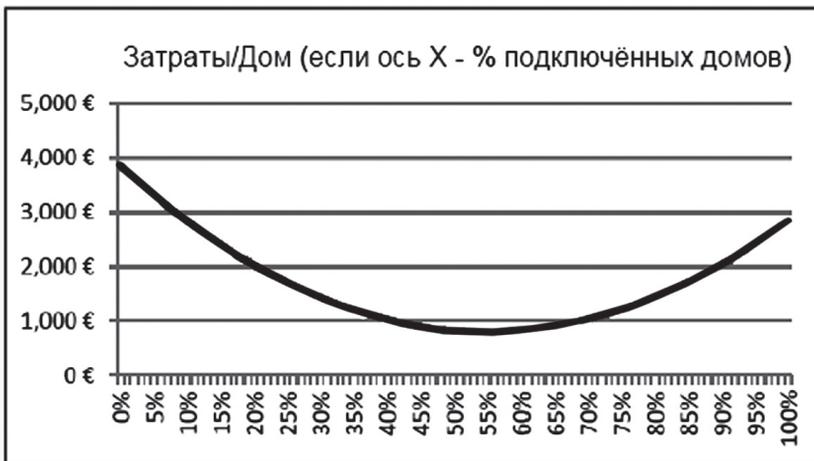


Рис. 4. Характерный рост затрат на один жилой дом в зависимости от количества подключённых домов

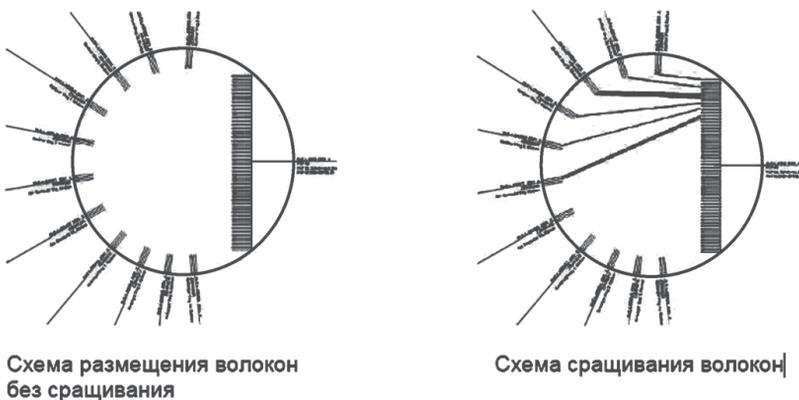


Рис. 5. Схема сращивания волокон в распределительном устройстве

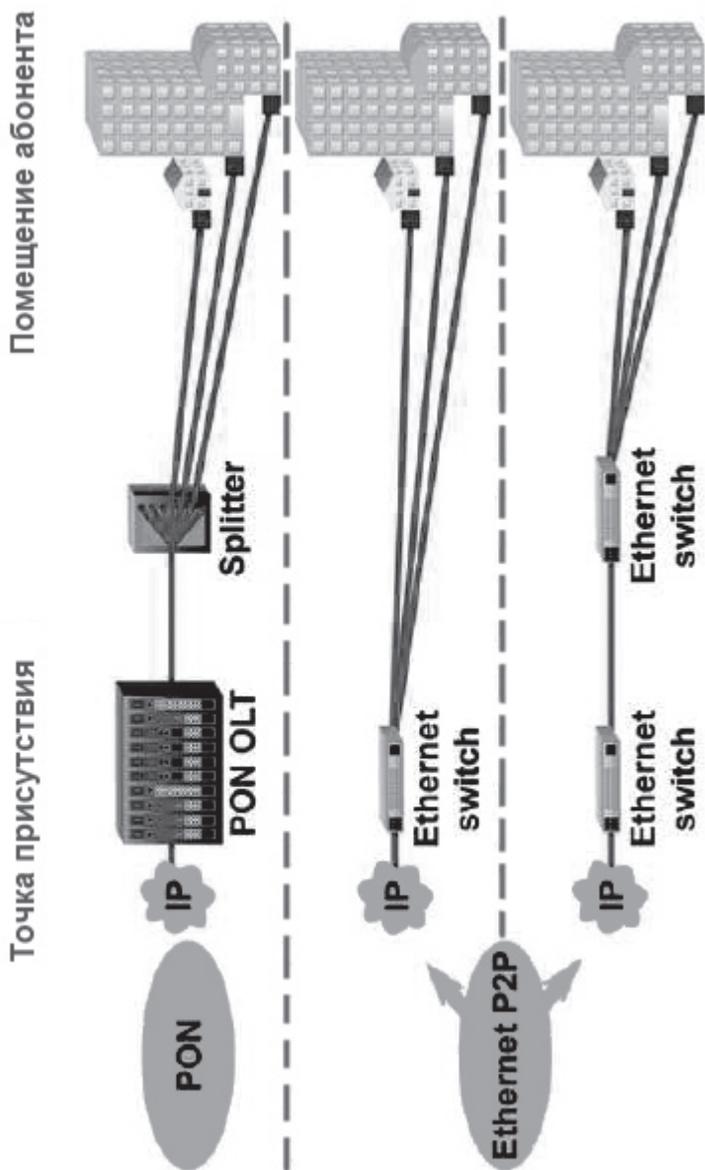


Рис. 6. Различные архитектуры сети FTTH

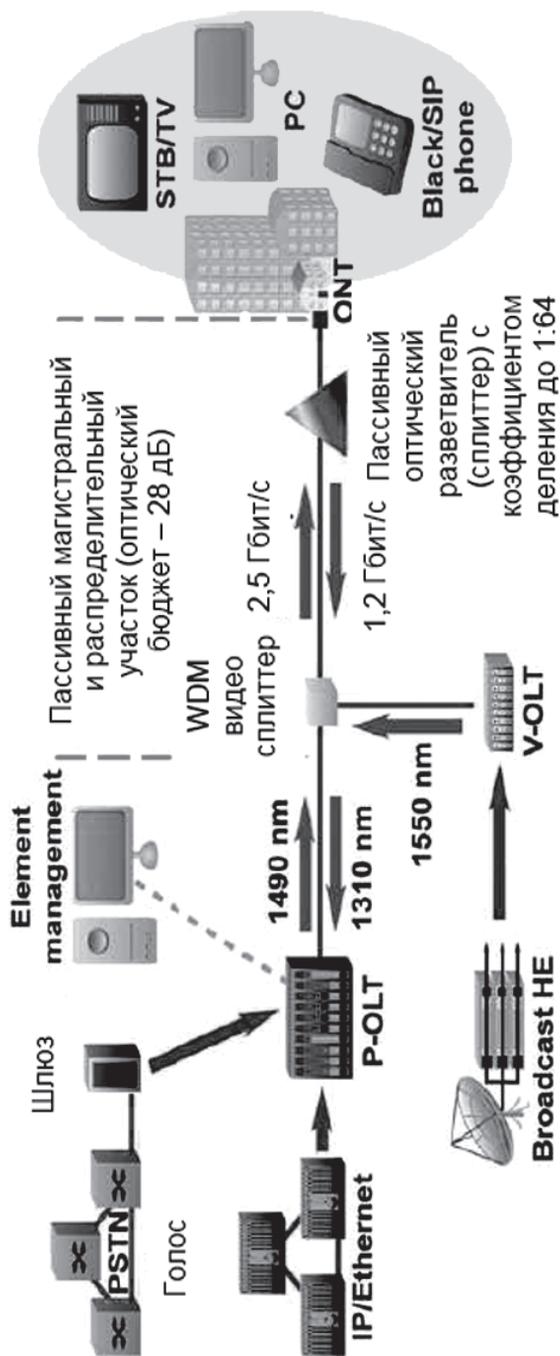


Рис. 7. Общая схема построения сети GPON

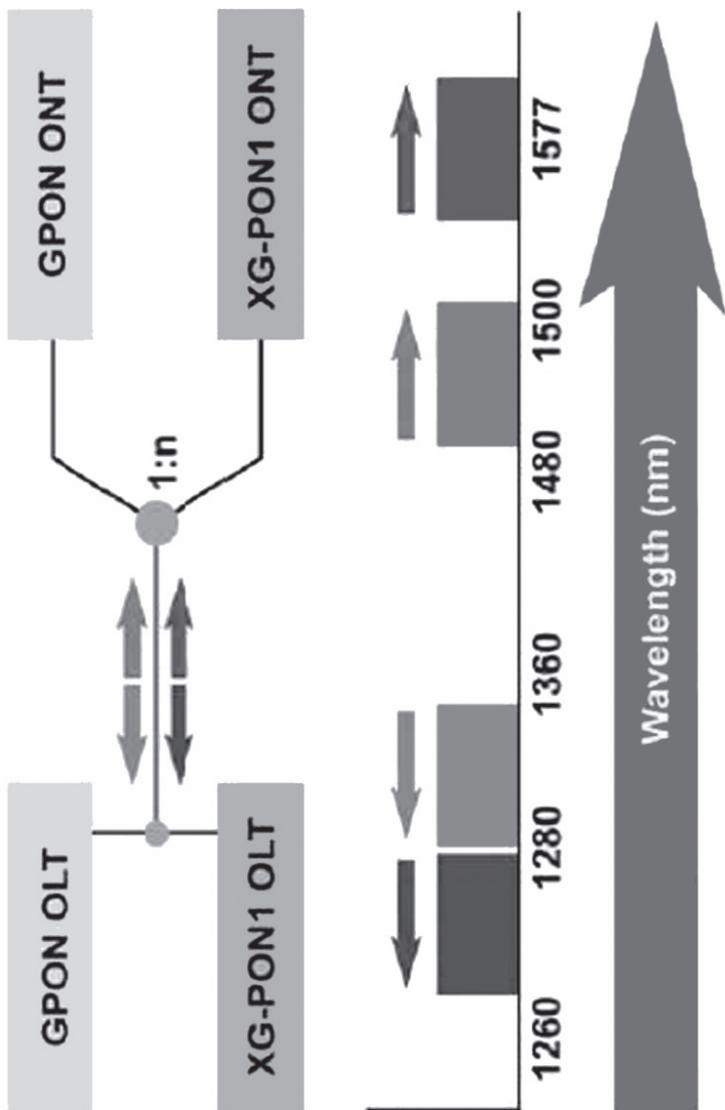


Рис. 8. Одновременное использование технологий GPON и XG-PON

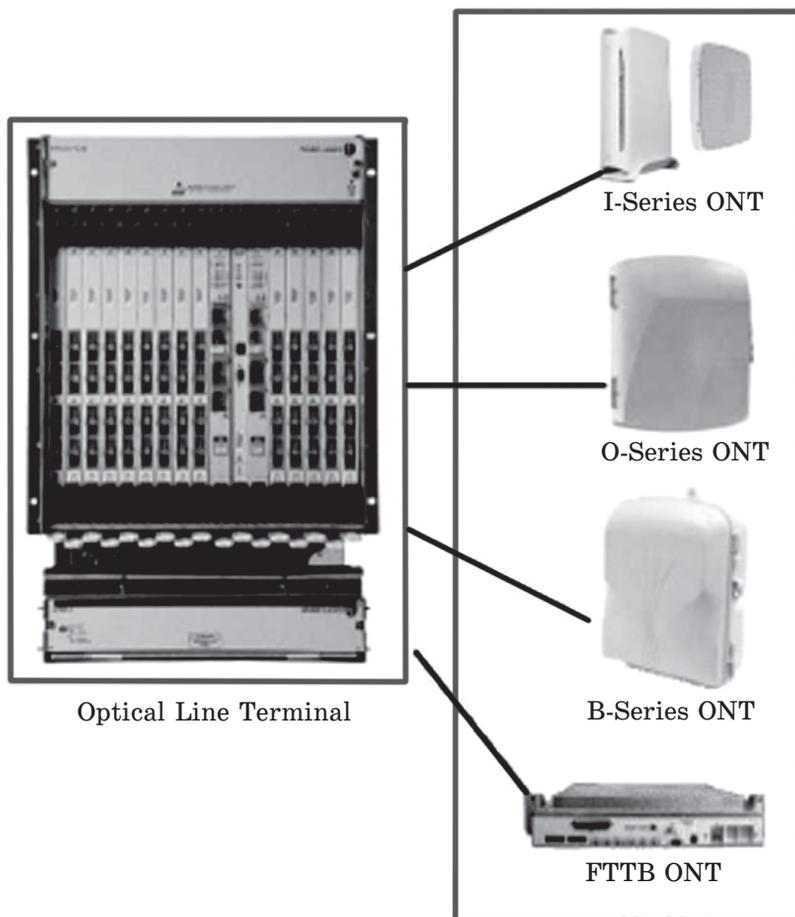


Рис. 9. Различные типы ONT

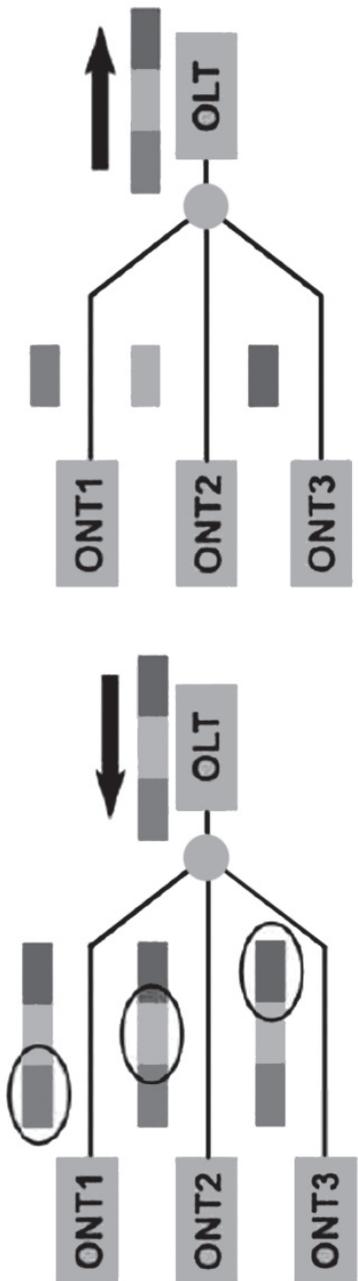


Рис. 10. Распределение полосы пропускания в системах PON

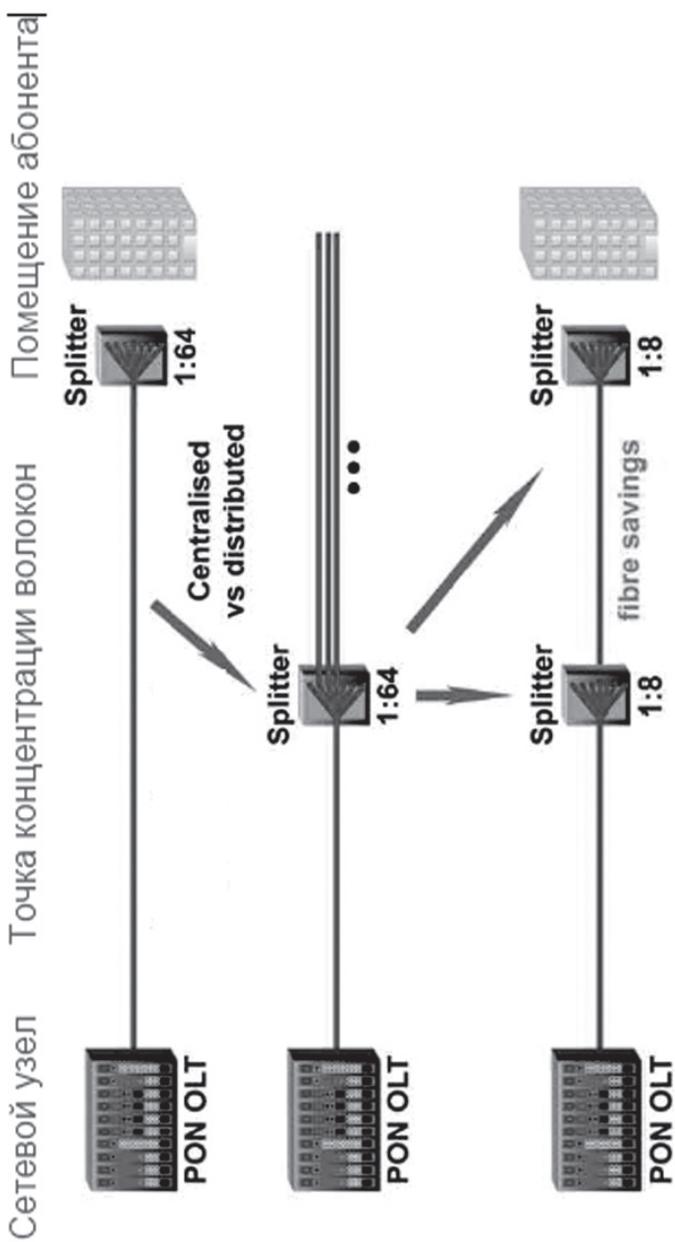


Рис. 11. Централизованное и каскадное деление в сетях PON

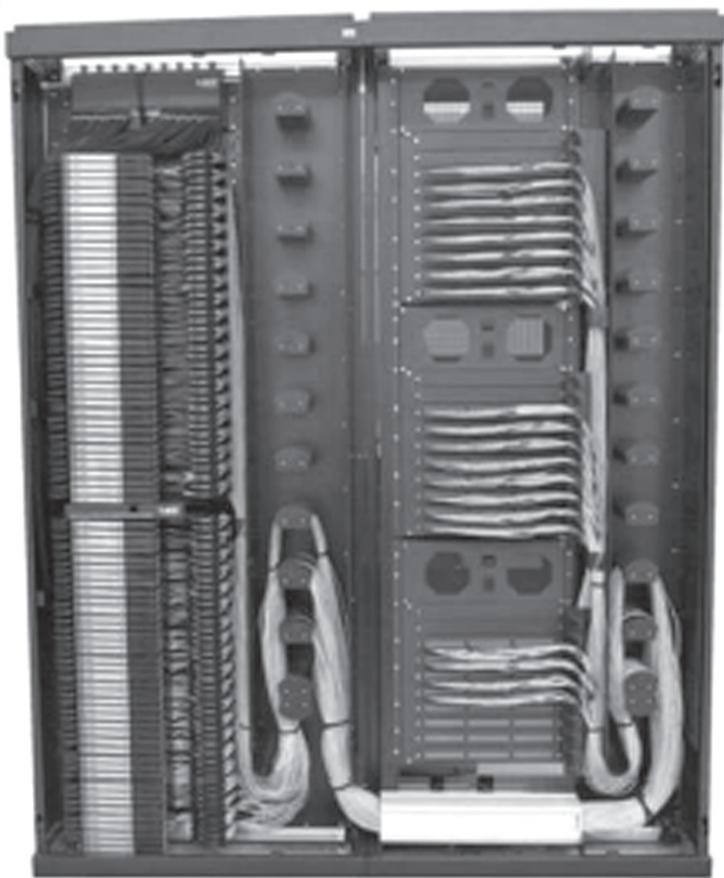


Рис. 12. Оптический кросс высокой ёмкости

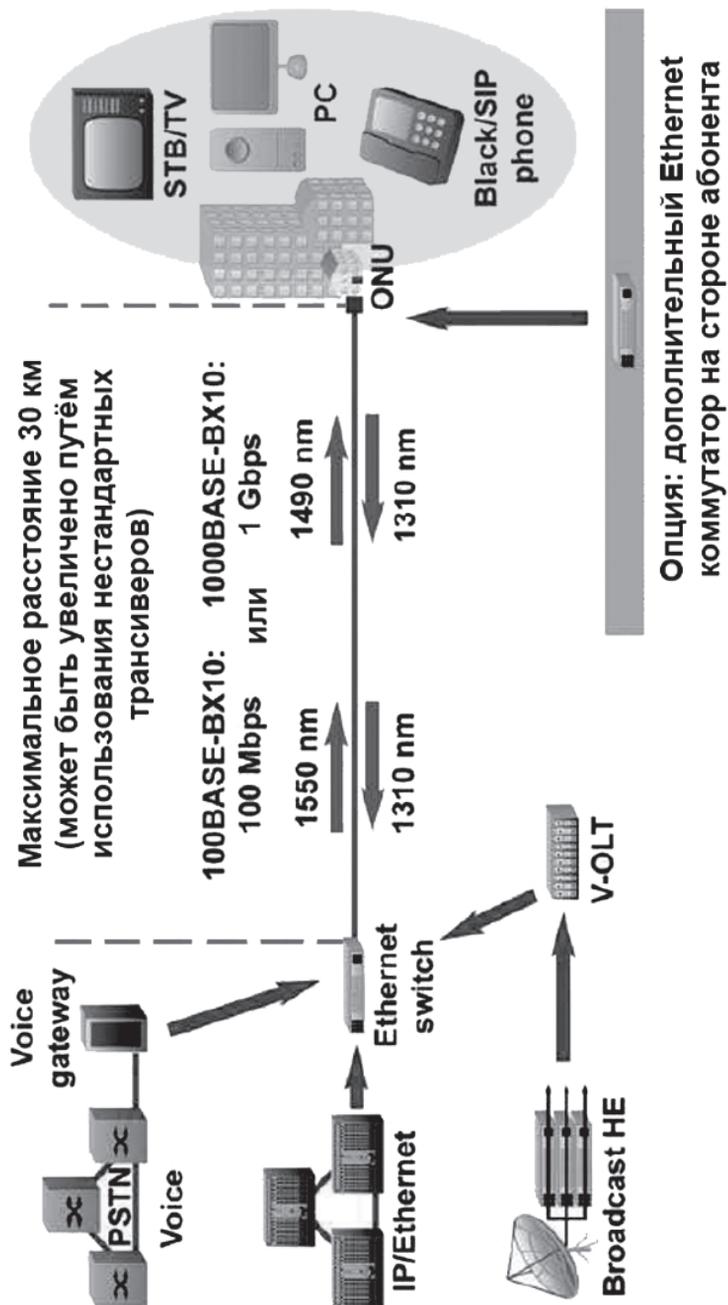


Рис. 13. Схема построения сети Ethernet

ОБОРУДОВАНИЕ, УСТАНОВЛИВАЕМОЕ НА СТОРОНЕ АБОНЕНТА

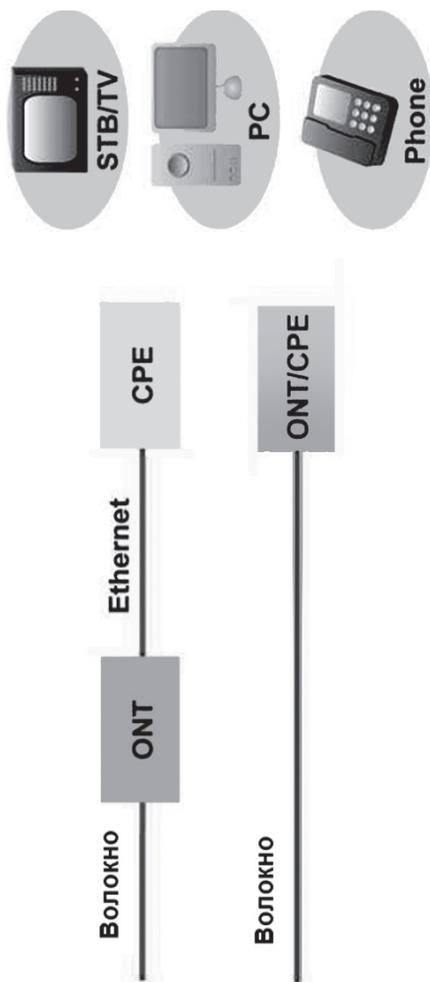


Рис. 15. Возможные конфигурации оборудования устанавливаемого на стороне абонента

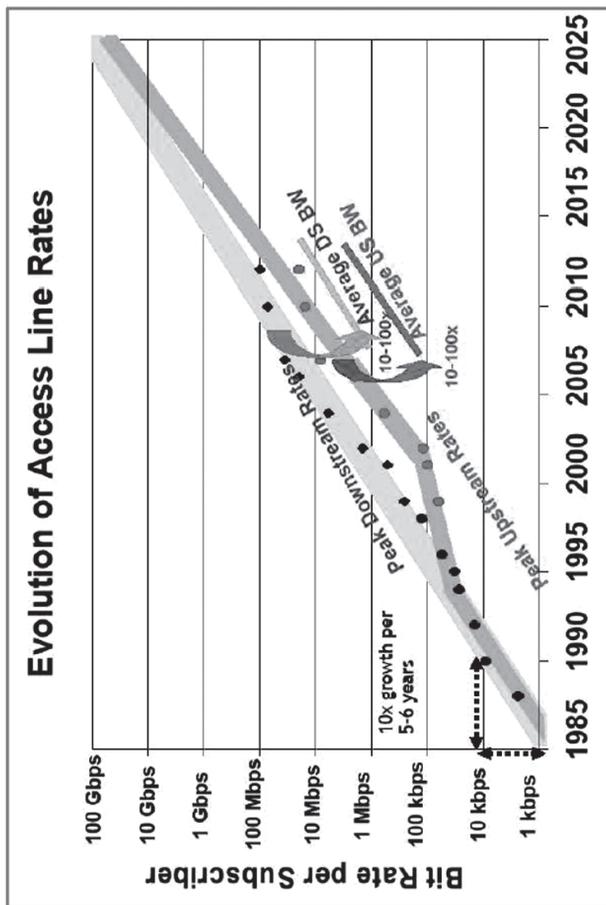


Рис. 16. Рост потребности в увеличении полосы пропускания

На рисунке: *Bit Rate per Subscriber* – скорость передачи данных для абонента

ПАССИВНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ СЕТИ

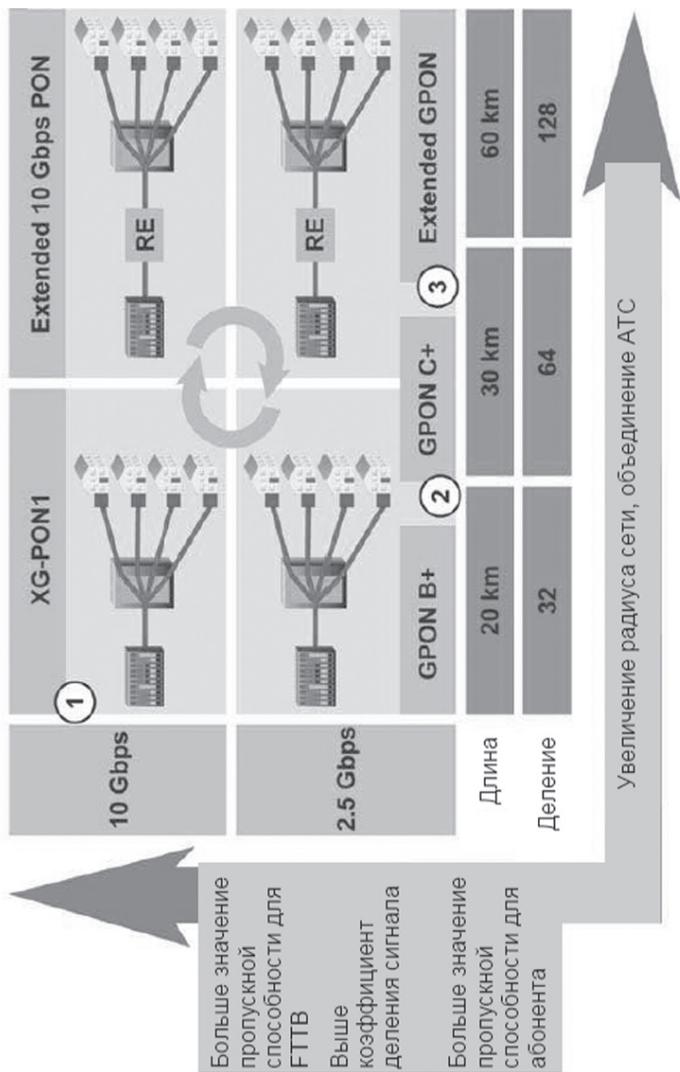


Рис. 17. Развитие стандартов ITU PON

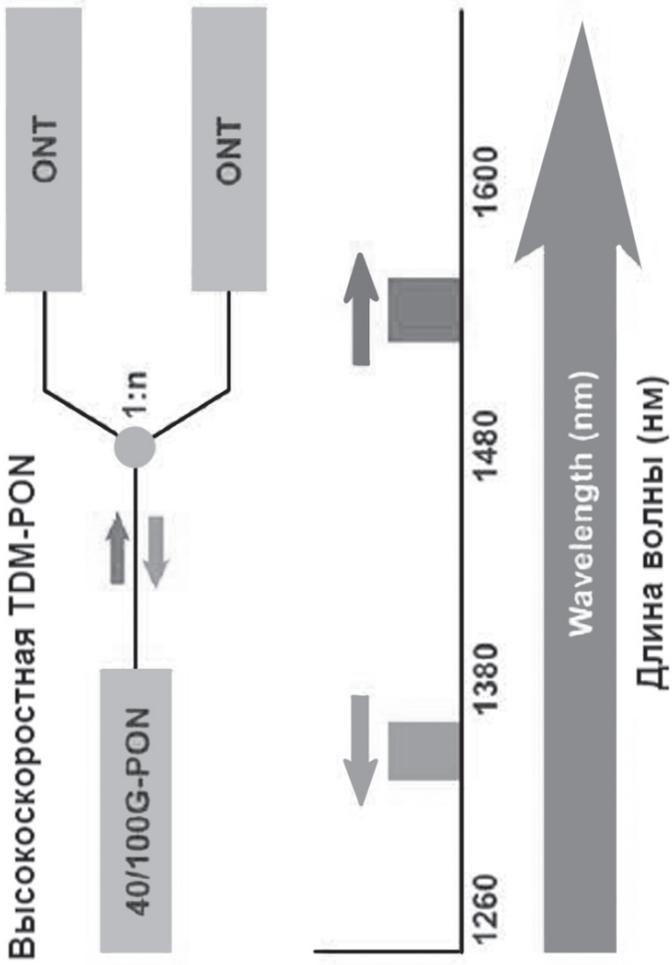


Рис. 18. Распределение длин волн для TDM-PON

В технологии WDM каналы полностью независимы, а потому она дает большую гибкость, чем технология TDM.

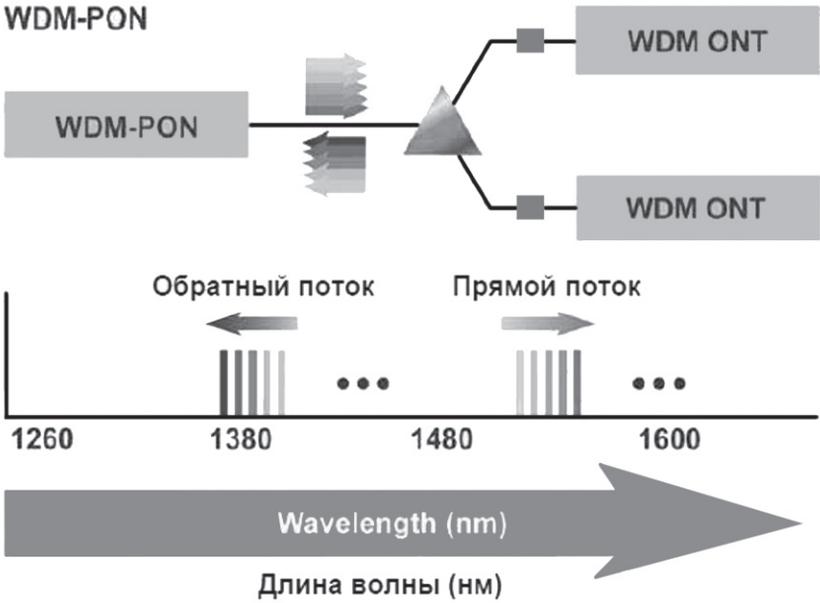


Рис. 19. Распределение длин волн для WDM-PON

Использование одного волокна для одновременной передачи нескольких сигналов TDM-PON, обычно применяемых в четырёх системах XG-PON, работающих на скорости передачи 10 Гбит/с каждая. Такая система называется гибридная TDM-WDM-PON.

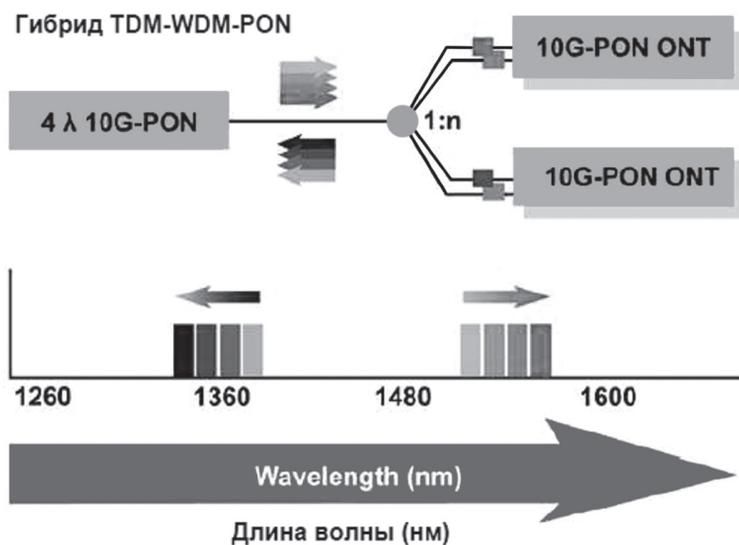


Рис. 20. Распределение длин волн для гибридной системы TDM-WDM-PON

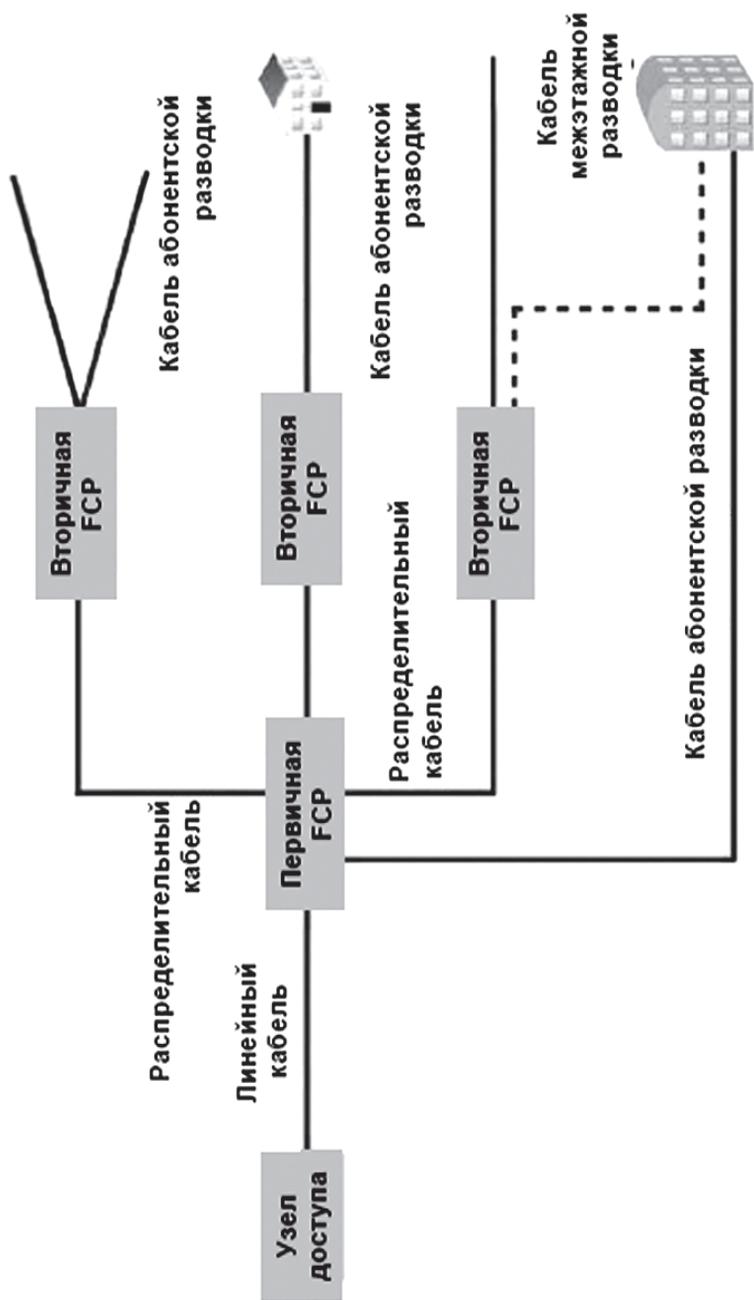
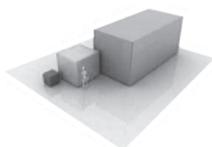


Рис. 21. Основные элементы инфраструктуры сети FTTH

Узел доступа

Узел доступа, называемый также сетевым узлом или точкой присутствия (POP), является отправной точкой всей волоконно-оптической сети.



Кол-во подключённых домов	Тип структуры узла доступа	
2-400	Помещение	Улица
400-2 000	Помещение	Цоколь
Более 2 000	Здание	

Рис. 22. Размер узла доступа

Линейные кабели

Линейные кабели направляются от узла доступа к первичной точке концентрации волокон (FSP) и могут быть проложены на расстояние нескольких километров. Количество волокон в кабелях зависит от топологии сети.



Рис. 23. Кабели большой ёмкости



Рис. 24. Кабели средней ёмкости

Первичная точка распределения волокон

Линейные кабели большой ёмкости должны преобразовываться в распределительные кабели меньшей ёмкости. Это происходит в первичной точке распределения волокон сети FTTH (FCP).

Распределительные кабели

Распределительные кабели имеют среднюю ёмкость и предназначены для соединения точки FCP с точкой концентрации абонентов (жилыми зданиями).



Рис. 25. Кабели большой ёмкости



Рис. 26. Кабели модульной конструкции



Рис. 27. Гибкие трубки прокладываемые непосредственно в грунт



Рис. 28. Кабель с металлическими защитными элементами



Рис. 29. Кабель без металлических защитных элементов

**Кабели абонентской разводки,
подвешиваемые на опорах**



Рис. 30. Кабель ADSS тросом



Рис. 31. Кабель с металлическим несущим

Элементы инфраструктуры сети

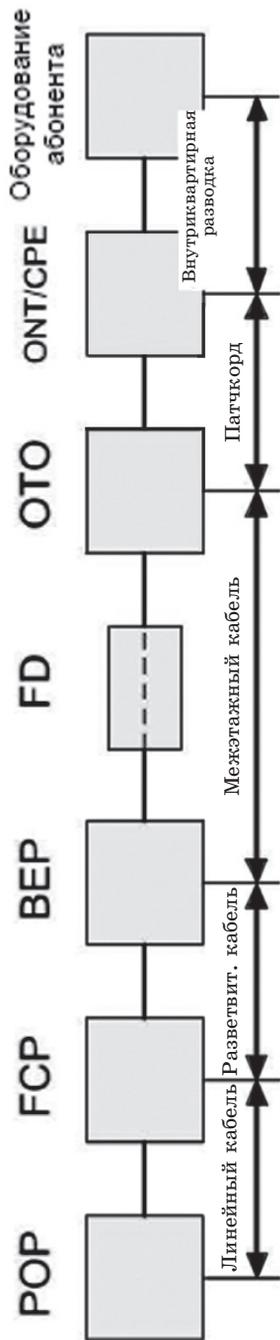


Рис. 32. Кабель с металлическими защитными элементами

POP (*Point of Presence*) – сетевой узел, или точка присутствия

FCP (*Fibre Concentration Point*) – точка распределения волокон

BEP (*Building Entry Point*) – точка входа в здание

FD (*Floor Distributor*) – этажное распределительное устройство

OTO (*Optical Telecommunications Outlet*) – оптический абонентский модуль

CPE (*Customer Premise Equipment*) – оборудование абонента, подключаемое к сети

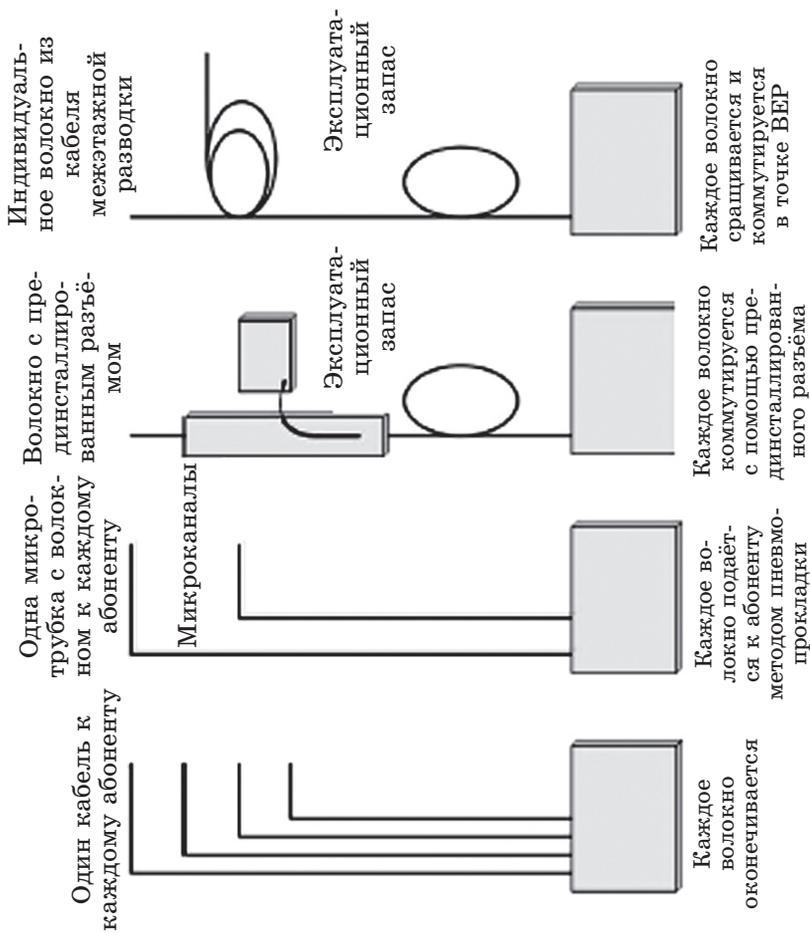


Рис. 33. Пример внутридомовой кабельной разводки



Рис. 34. Пример модуля с прединсталлированным кабелем



Рис. 35. Модуль ОТО, установленный в распределительный щит абонента

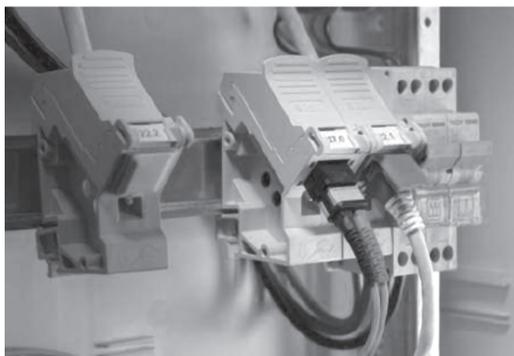


Рис. 36. Модуль ОТО, установленный на DIN рейку вместе с электрическими выключателями



Рис. 37. Прокладка кабеля в каналах кабельной канализации

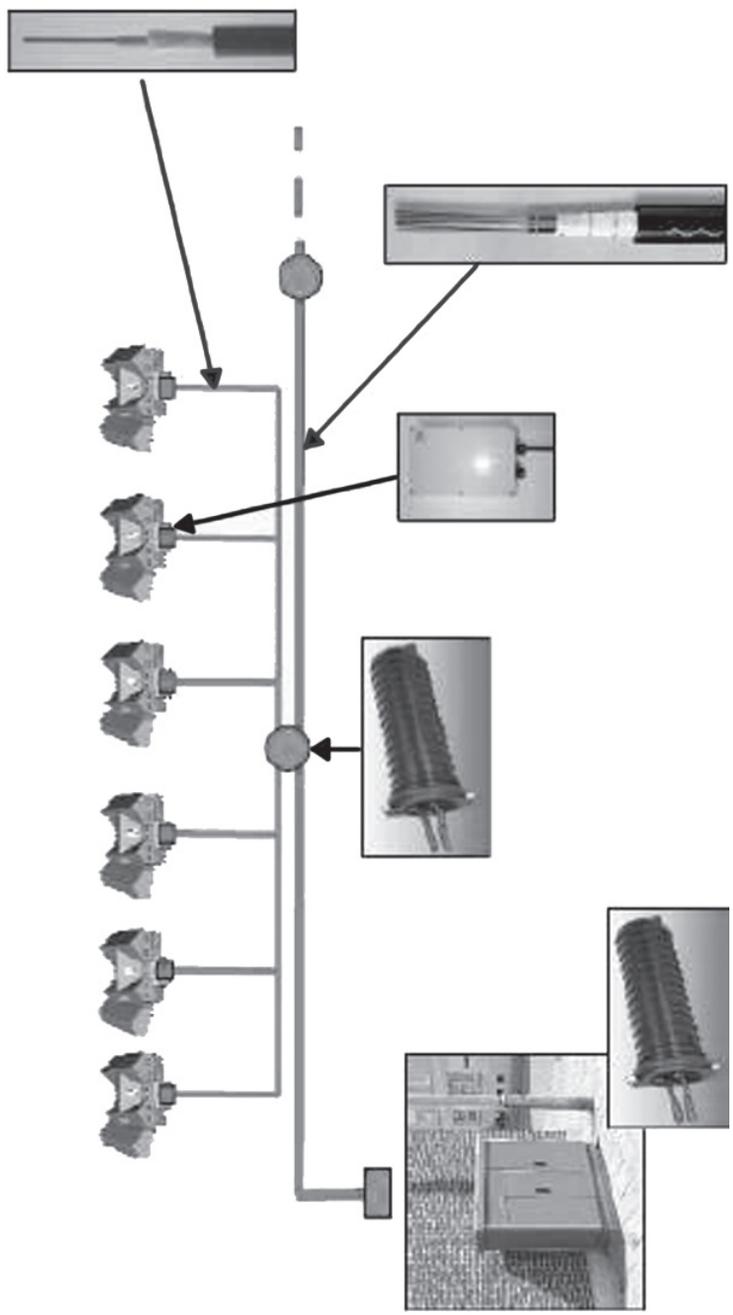


Рис. 38. Линейно-кабельное оборудование

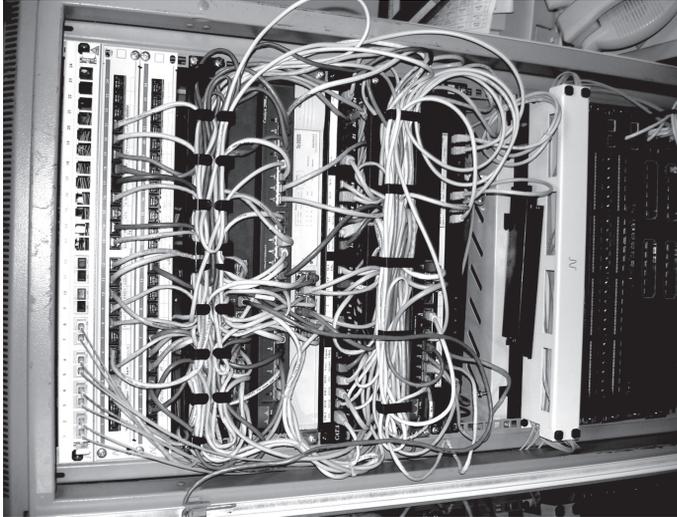


Рис. 39. Виды смонтированных шкафов

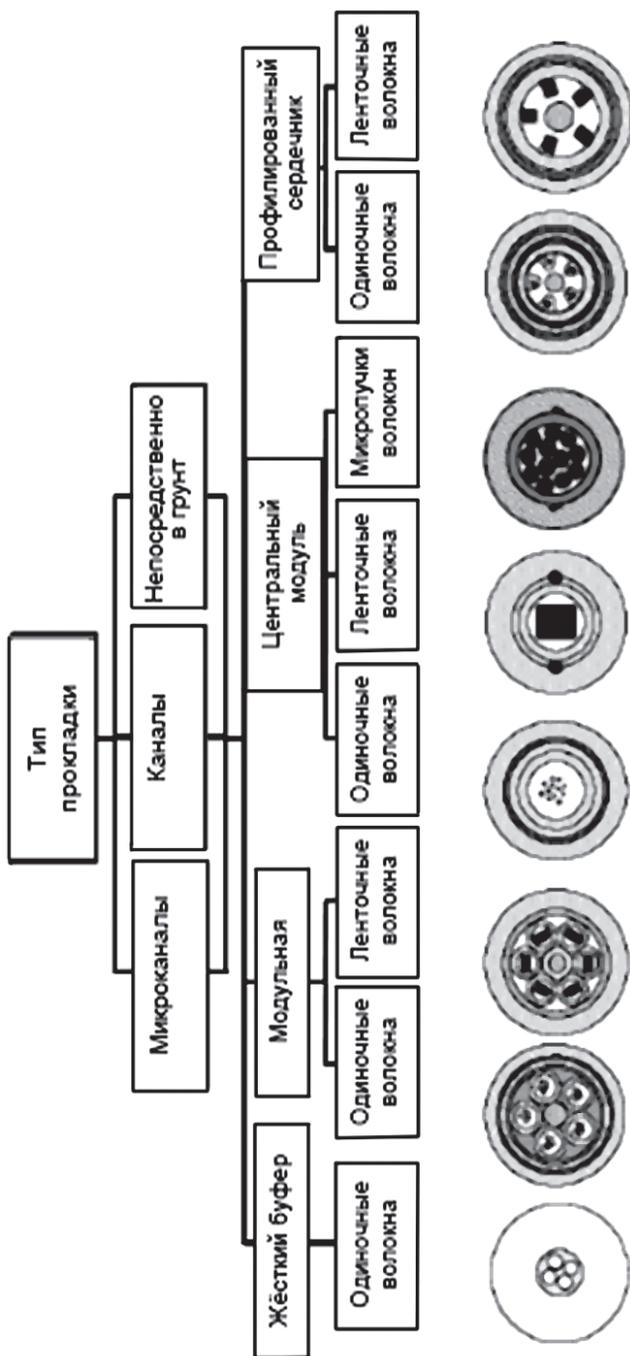


Рис. 40. Типы и конструкция кабелей, прокладываемых в каналах

Колодцы кабельной канализации



Рис. 41. Процесс вытягивания сердцевины



Рис. 42. Разветвительные блоки старого медножильного кабеля



Рис. 43. Ответвление



Рис. 44. Соединительные блоки (слева направо): газонепроницаемые коннекторы, коннекторы для прямого соединения микроканалов, заглушки толстостенного микроканала



Рис. 45. Микрокабель

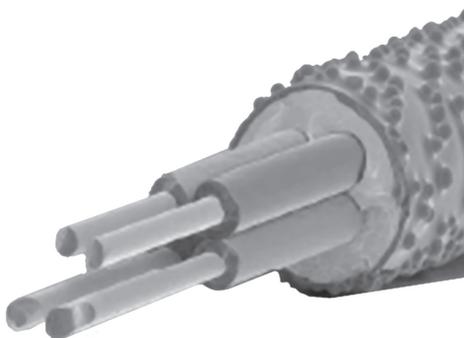


Рис. 46. Волоконный модуль с 4 волокнами

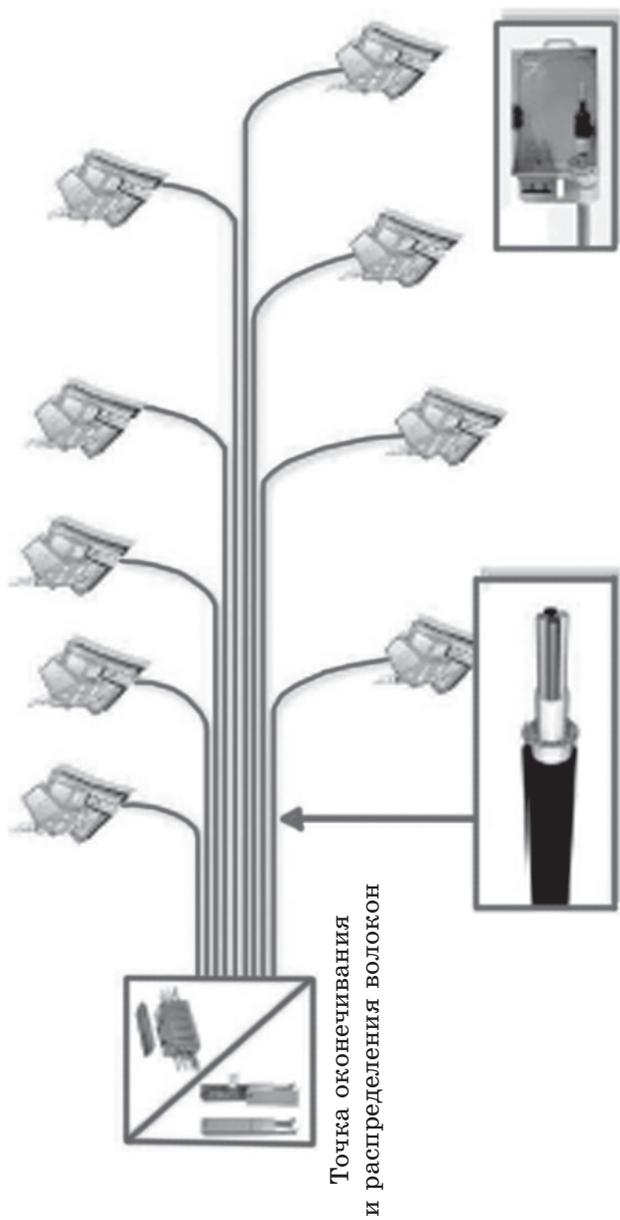


Рис. 47. Структура и изделия подземной кабельной сети



Рис. 48. Кабель с двойной полиэтиленовой оболочкой и металлической гофрированной лентой

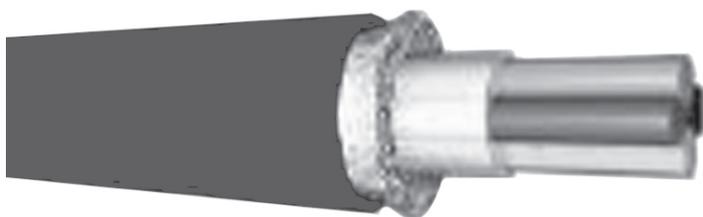


Рис. 49. Полностью диэлектрический кабель (без металлических элементов)

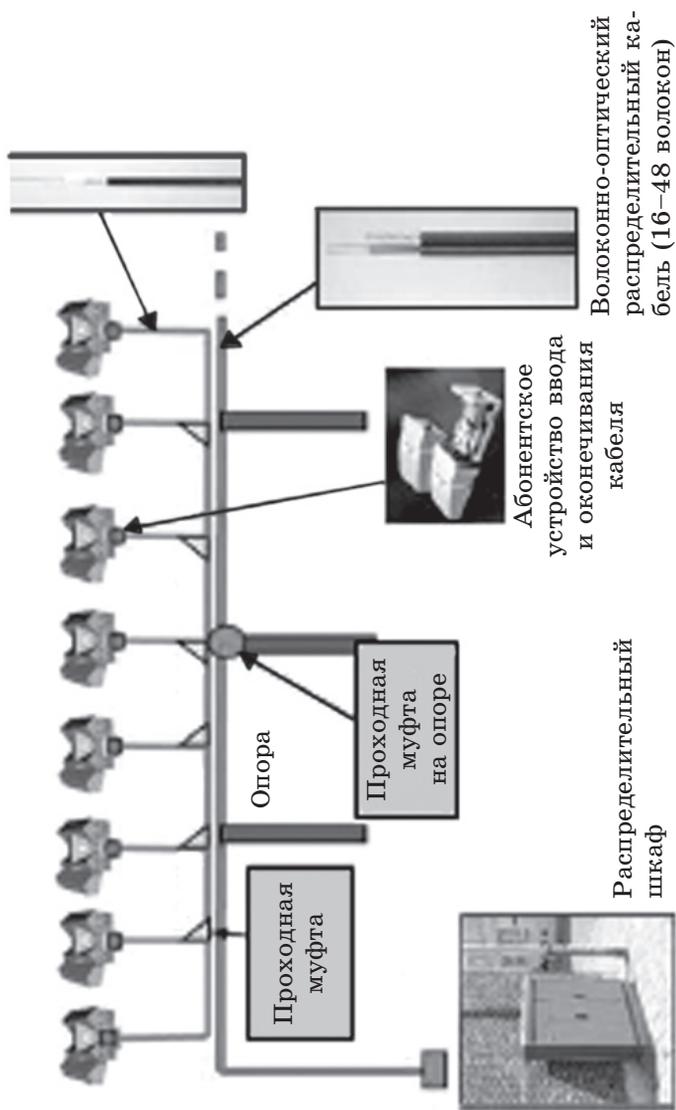


Рис. 50. Типичные изделия, применяемые для строительства воздушной волоконно-оптической линии связи



Рис. 51. Навивка кабеля на грозогрос

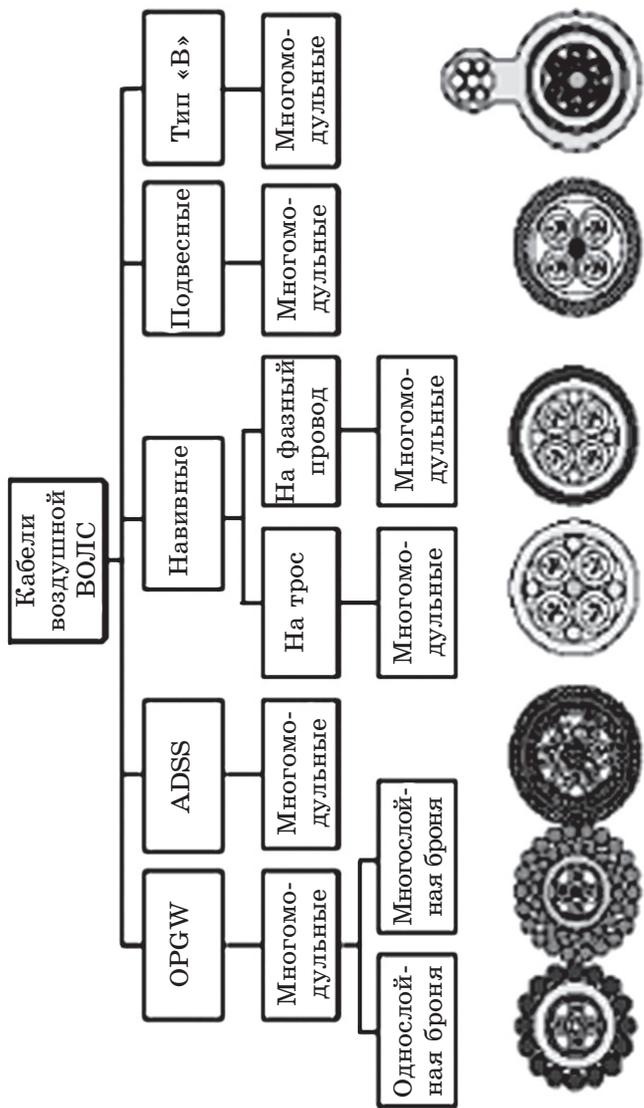


Рис. 52. Типы кабелей воздушной ВОЛС



Рис. 53. Прокладка кабеля

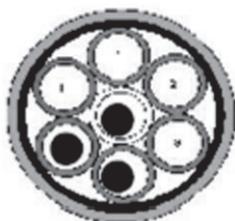


Рис. 54. Микроканалы с кабелем/волоконными модулями

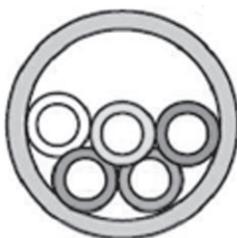


Рис. 55. Пустые микроканалы, проложенные в общем канале

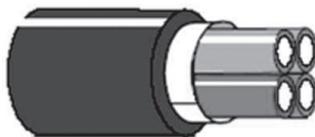


Рис. 56. Защищённый микроканал



Рис. 57. Коннекторы, устанавливаемые как внутри, так и снаружи помещений. Первая строка: полностью герметичные коннекторы и устройства коммутации. Вторая строка: кабельные сборки с прединсталлированными коннекторами в герметичных минимухтах. Третья строка: герметичные муфты с установленными стандартными коннекторами



Рис. 58. Примеры конструкций шкафов

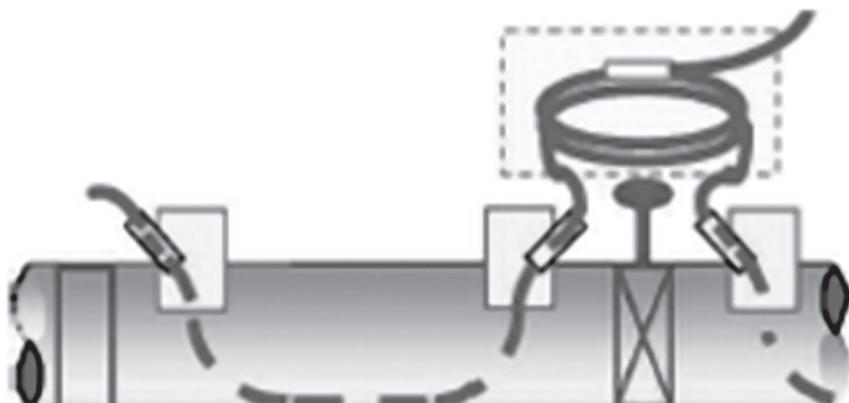


Рис. 59. Секция газовой трубы наружной установки с установленными портами входа и выхода кабеля



Рис. 60. Прокладка кабеля в тоннеле



Рис. 61. Конструкция одномодового оптического волокна



Рис. 62. Распространение светового луча в волокне



Рис. 63. Активное оборудование на узле PON



Рис. 64. Виды кабелей



Рис. 65. Небольшой узел PON



Рис. 66. Примеры систем кабельростов и коробов

Сетевые узлы, узлы доступа, а также шкафы наружной установки с климат-контролем могут оборудоваться *системами бесперебойного питания (UPS)*.

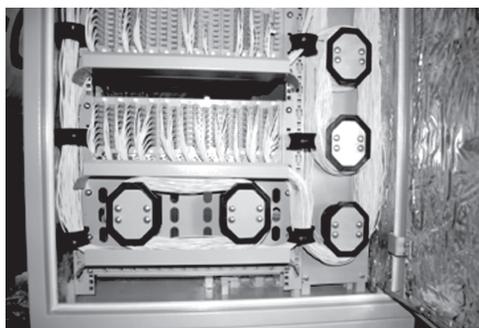


Рис. 67. Источник бесперебойного питания электропитания



Рис. 68. Устройство охлаждения воздуха



Рис. 69. Типичный вид наружной установки шкафа



Рис. 70. Шкаф с прединсталлированными оптическими кабелями

ЗАГРЯЗНЕНИЕ КОННЕКТОРА ЯВЛЯЕТСЯ ПЕРВОЙ ПРИЧИНОЙ ОТКАЗА РАБОТСПОСОБНОСТИ ВСЕЙ ОПТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Алгоритм проведения визуального контроля

Ниже представлен алгоритм работы видеомикроскопа при проведении визуального контроля поверхности торца коннектора:

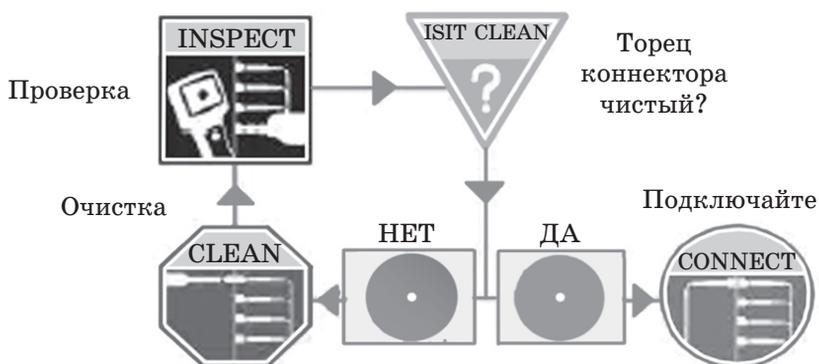


Рис. 71

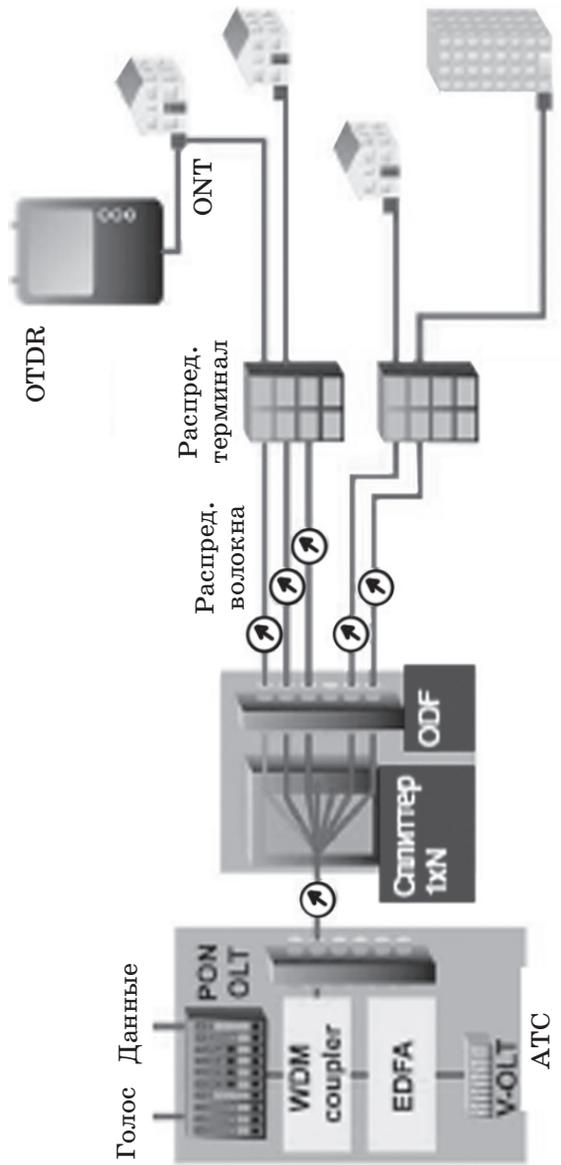


Рис. 72. Измерения с помощью рефлектометра

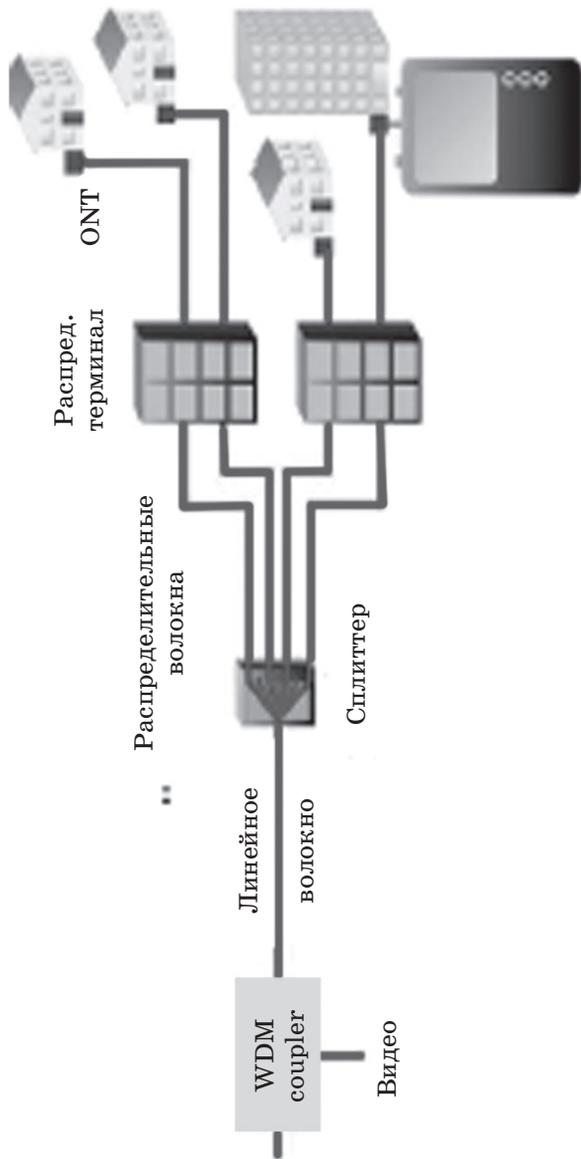


Рис. 73. Измерение оптических параметров на этапе активации услуг с помощью PON тестеров

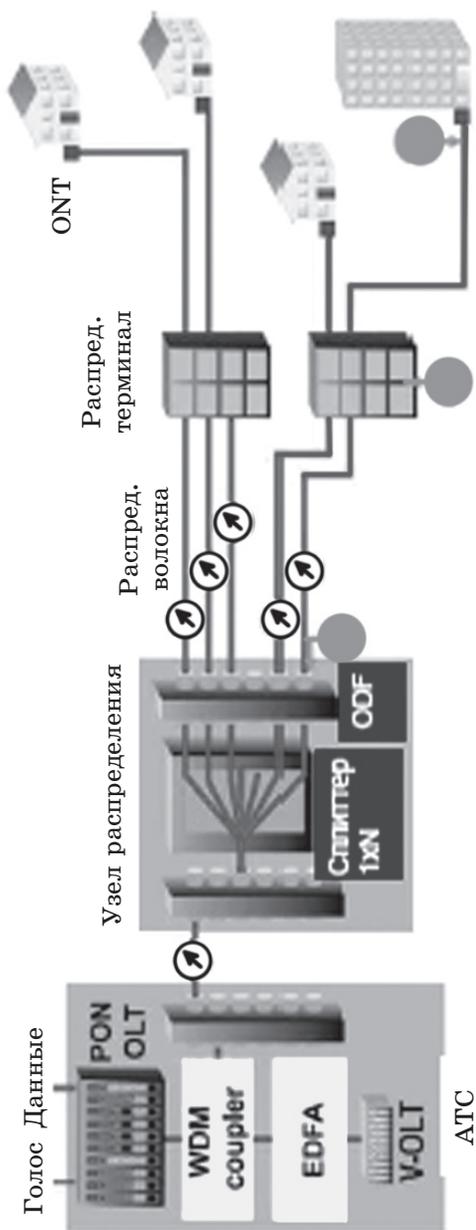


Рис. 74. Проведение измерений в нескольких точках

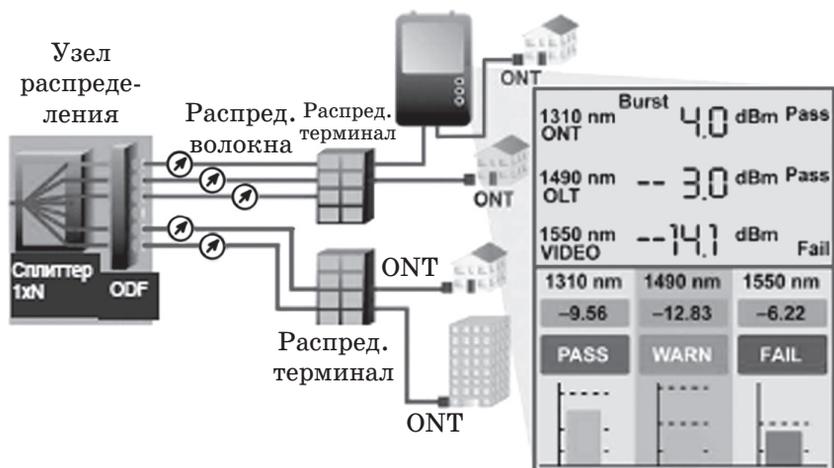
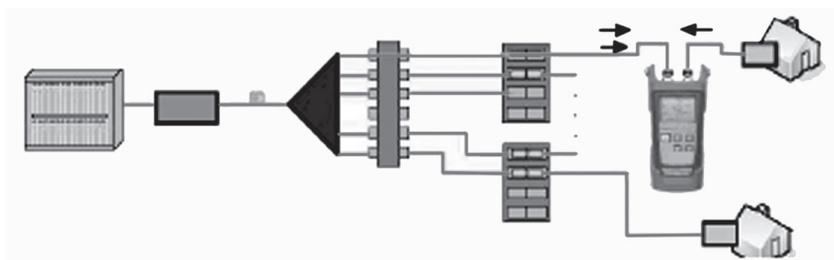


Рис. 75. Измерения уровня оптического сигнала на трёх длинах волн:

- PASS** – уровень сигнала в норме
- WARN** – предупреждение об опасно низком уровне сигнала
- FAIL** – очень низкий уровень сигнала

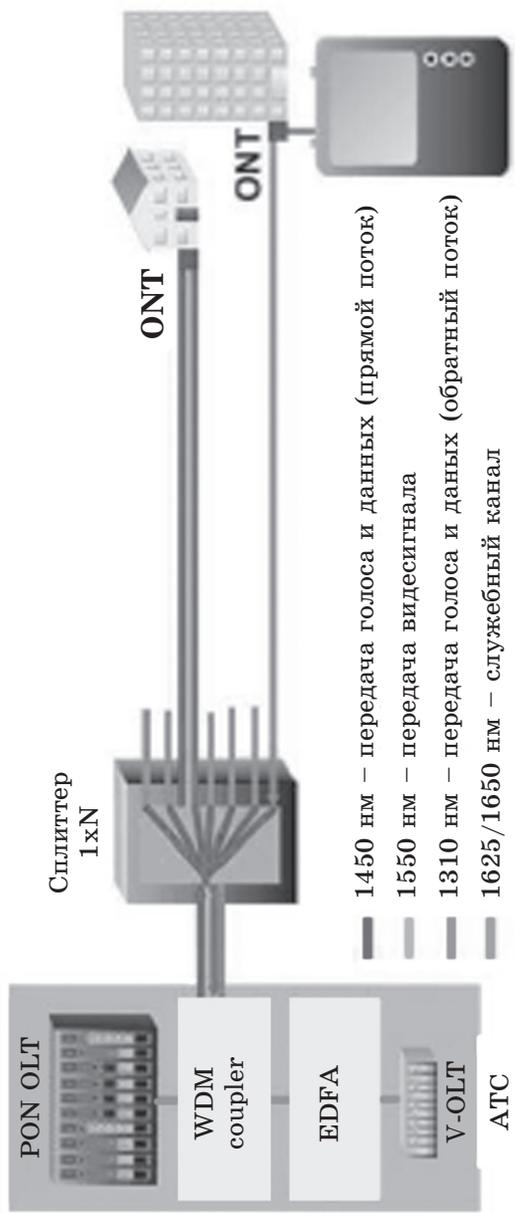


Рис. 76. Поиск неисправностей в сетях PON

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Телекоммуникациялар қонуни. Ўзбекистон Республикаси Қонуни 20.08.1999. № 822-І.
2. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи (ATM, PDH, SDH, SONET, и WDM). – М: Радио и связь, 2000.
3. Волоконно-оптические сети. – Москва: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000.
4. Бакланов И.Т. Технологии измерений в современных телекоммуникациях, 1997.
5. Волоконная оптика: компоненты, СП, измерения. Иванов А.Б. – Москва: компания Сайрус системс, 1999.
6. Волоконно-оптическая техника: Современное состояние и перспективы. 2-е изд., перераб. и доп./ сб. статей под ред. Дмитриева С.А. и Слепова Н.Н. – М.: ООО «Волоконно-оптическая техника», 2005.
7. Р.Р. Убайдуллаев. Волоконно-оптические сети. – Москва.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2000.
8. Бакланов И.Т. Технологии измерений в современных телекоммуникациях, 1997.
9. Ю.А. Парфенов, Д.Г. Мирошников. Цифровые сети доступа. Медные кабели и оборудование. – М.: Эко-трендз, 2005.
10. Р. Фримен. Волоконно-оптические системы связи. – Москва: Техносфера, 2003.
11. Васильев И.И., Птичников М.М. Измерение в цифровых сетях связи. М.: Пастмеркет, 2004.

Интернет-сайты

1. [htr: //www.telecomsistes.ru](http://www.telecomsistes.ru)
2. [htr: //www.nnz-telecom.ru](http://www.nnz-telecom.ru)
3. [htr: //www.comnews.ru](http://www.comnews.ru)
4. [htr: //www.e.rus.ru](http://www.e.rus.ru)
5. [htr: //www.db.icsti.ru](http://www.db.icsti.ru)
6. [htr: //www.ukrintell.com.ua](http://www.ukrintell.com.ua)
7. [htr: //www.istc.ru](http://www.istc.ru)

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ	5
1.1. Основные понятия, определения и классификация.....	5
1.2. Состав и структура сетей телекоммуникаций.....	19
1.3. Развитие транспортной сети.....	29
1.4. Перспектива развития сетей	46
1.5. Логарифмические единицы сигналов, используемые при передачи данных	49
2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	58
2.1. Принципы построения систем передачи	58
2.2. Первичные сигналы и их физические характеристики....	62
2.3. Каналы передачи и их характеристики	69
2.4. Архитектура систем передачи и распределения информации	77
3. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ С ЧАСТОТНЫМ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ	80
3.1. Принцип построения систем с частотным распределением каналов	80
3.2. Принципы формирования канальных сигналов.....	85
3.3. Принцип многократного преобразования частот.....	90
3.4. Шумы в каналах и трактах	97

4. ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ.....	99
4.1. Принцип построения систем с временным распределением каналов.....	99
4.2. Преобразование аналогового сигнала в цифровой. Особенности и виды импульсной модуляции сигналов ...	105
4.3. Структура сигнала первичного цифрового канала	114
4.4. Принципы организации с ИКМ. Структура сигналов в первичном цифровом канале (Е-1 поток).....	116
4.5. Построение оконечной станции ИКМ-30.....	120
4.6. Принципы построения цифрового линейного тракта.....	124
4.7. Регенерация сигналов. Схема регенераторов. Выделение тактовой частоты.....	129
4.8. Линейные коды, используемые в цифровых системах передачи.....	136
5. СПОСОБЫ ОБЪЕДИНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ	140
5.1. Иерархия цифровой системы передачи, построенной на основе ИКМ	140
5.2. Объединение цифровых потоков в плезиохронной цифровой иерархии.....	150
5.3. Недостатки систем PDH	154
5.4. Объединение цифровых потоков в синхронной цифровой иерархии.....	156
5.5. Состав базового мультиплексора и его структурная схема.....	171
5.6. Модели транспортных сетей на базе цифровых систем передачи.....	174
6. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ	184
6.1. Обзор технологий абонентской сети доступа	184
6.2. Цифровая абонентская линия ISDN.....	212
6.3. Асимметричная цифровая абонентская линия ADSL	215
6.4. Цифровой абонентский доступ по линии электропередачи PCL	221

6.5. Стандартные конфигурации проводного широкополосного доступа	224
6.6. Мультисервисные сети	233
6.7. NGN – сети следующего поколения	238
7. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ	263
7.1. Основные понятия оптической связи. Оптическая связь и волоконно-оптические системы	263
7.2. Принципы построения волоконно-оптических систем передачи	267
7.3. Использование волоконной оптики в транспортной сети телекоммуникаций	271
7.4. Использование волоконной оптики в сети абонентского доступа	280
8. ОБСЛУЖИВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ	302
8.1. Основные понятия и определения	302
8.2. Показатели надежности	305
8.3. Способ повышения надежности	308
8.4. Техническое обслуживание систем передачи	310
8.5. Состояние и перспективы развития сетей телекоммуникаций Республики Узбекистан	311
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	314
СОКРАЩЕНИЯ	316
ТЕСТЫ	327
ПРИЛОЖЕНИЕ	340
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	394

АГРИППИНА ВАСИЛЬЕВНА ШИН,
НОДИР ХОДЖАЕВ

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

**Учебное пособие для
профессиональных колледжей**

Издательский дом «ILM ZIYO»
ТАШКЕНТ – 2016

Редактор *О. Вульф*
Художественный редактор *М. Бурханов*
Компьютерная верстка *К. Голдобина*

Издательская лицензия АІ №275, 15.07.2015 г.
Подписано в печать с оригинала-макета 04.01.2016.
Формат 60×90¹/₁₆. Кегль 11,8 н/шпон. Гарнитура SchoolBookC.
Печать офсетная. Печатных листов 25,0. Издательских листов 23,0.
Тираж 84. Заказ № 44.

Издательский дом «ILM ZIYO», 100129, Ташкент, ул. Навои, 30.

Отпечатано в типографии ЧП «PAPER MAX»
Ташкент, ул. Навои, 30.

Ш 76

Шин А. Телекоммуникационные системы передачи. Учебное пособие для профессиональных колледжей / А. Шин. – Т.: «ILM ZIYO», 2016. 400 с.

ISBN 978-9943-16-214-3

УДК: 621.377.037.3(075)

ББК 32.949