

## Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»  
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович  
Тема: **Последняя миля. Способы организации связи.**

### Учебные вопросы:

1. С чего все начиналось? Понятие доступа и абонентской сигнализации.
2. Понятие последней мили. Типы сред для физической передачи сигналов.
3. Понятие абонентского интерфейса. Разновидности абонентских интерфейсов. Классификация интерфейсов. Разновидности сетей.

### Литература:

1. Н.Слепов. Сети доступа. Основные понятия и оборудование. Электроника НТБ. Выпуск #7/2005.
2. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2012. – 943 с.

Сети доступа в последнее время вызывают неизменно растущий интерес у специалистов в области связи и коммуникаций с тем, что сервисные возможности этих сетей, постоянно расширяясь, выводят абонентов операторских сетей на качественно новый уровень и покрывают практически все типы сервисов: от передачи голоса и данных до мультимедиа и видео.

Изучаемая нами дисциплина называется «Сети абонентского доступа в системах передачи данных». Чтобы понять и определить понятие — Сеть абонентского доступа давайте рассмотрим некоего отдельного абонента с точки зрения сети связи и рассмотрим с чего все начиналось.

Вот живет обычный человек — назовем его «абонентом». Чаще всего он бывает дома и на работе. Хорошо бы дома иметь возможность связаться с работой и передать туда что-либо словами, ну и наоборот. А на начало такого пути был известен либо курьер, который уже существовал, либо электрический ток. С этого все и началось. Среда передачи определилась быстро — электрические провода. С изобретением микрофона и телефона, а электромагнит уже был известен началась эпоха развития связи.

Соединив последовательно телефон и микрофон на одном конце провода и так же на другом конце получили простейшую линию связи и тракт для передачи голоса. Значимые изобретения послужившие в дальнейшем основой телефонии :

- 7 марта 1876 года Александром Беллом был получен патент на изобретение телефона. Любопытно, что Александр Белл пытался изобрести не телефон, а «гармонический телеграф». В то время в телеграфии испытывался огромный дефицит линий.
- 25 июня 1876 года Александр Белл впервые продемонстрировал свой телефон на первой Всемирной электротехнической выставке в Филадельфии.
- В 1877 году изобретатель Ваден применил для вызова абонента телеграфный ключ, который замыкал цепь звонка (позднее ключ был заменён кнопкой). В том же году петербургский завод немецкой фирмы «Сименс и Гальске» начал изготавливать телефонные аппараты с двумя телефонными трубками — одна для приёма, другая для передачи речи.

- В 1878 году русский электротехник П. М. Голубицкий применил в телефонных аппаратах конденсатор и разработал первый русский телефон оригинальной конструкции, в котором было применено несколько постоянных магнитов. В 1885 году Голубицкий разработал систему централизованного питания микрофонов телефонных аппаратов.
- В 1877—1878 годах Томас Эдисон предложил использовать в угольных микрофонах вместо угольного стержня угольный порошок, то есть изобрёл угольный микрофон с угольным порошком, который практически без изменений широко использовался до начала 1990-х годов, а в некоторых местах работает до сих пор.

1 июля 1882 г. на Невском проспекте открылась первая городская телефонная станция. Дальнейшее развитие истории телекоммуникаций предлагается к самостоятельному изучению.

На этом историю развития связи пока закончим и рассмотрим принципиальные моменты передачи голосовой и сигнальной информации. Для этого рассмотрим варианты подачи питания в АЛ, рисунок 1, обобщенную схему ТА, приведенную на рисунке 2, и схему ручного коммутатора, приведенную на рисунке 3.

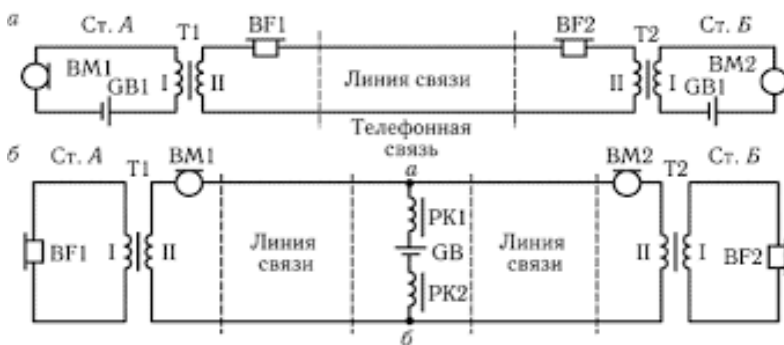


Рис.1. Варианты подачи питания в АЛ.

а) — с использованием местной батареи.

б) — с использованием центральной батареи.

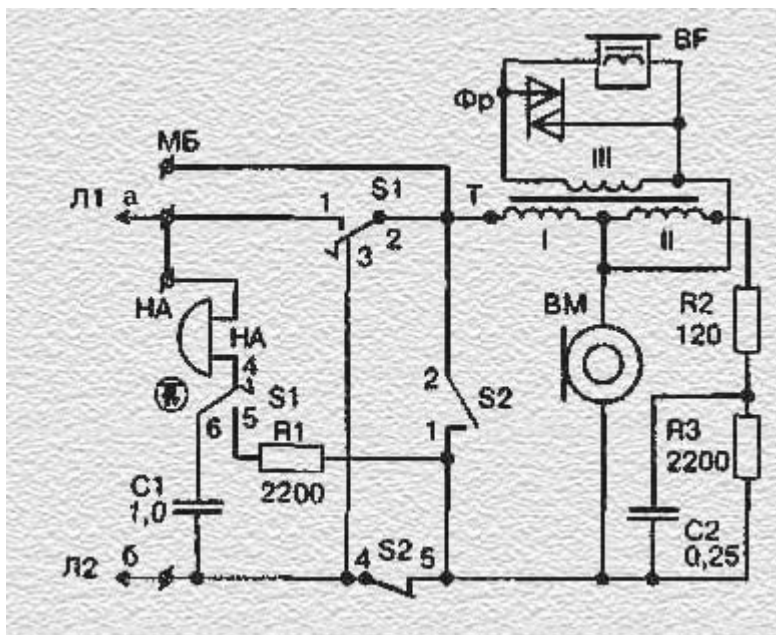


Рис.2. Обобщенная схема ТА.

Составные части ТА:

- Элементы голосового тракта: ВФ-телефонный капсюль, ВМ-угольный микрофон, Т-трансформатор для компенсации местного эффекта, Ор-амплитудный ограничитель разговорного сигнала, R2,R3,C2-согласующие элементы(иммитатор линии).
- Элементы сигнального тракта: S1-рычажный переключатель, S2-номеронабиратель, НА-звонок, С1-разделительный конденсатор (при вызове) и искрогасящий конденсатор (при наборе номера), R1-нагрузочное сопротивление.
- Л1 (провод а), Л2 (провод б)-контакты подключения линии.
- МБ-контакт подключения местной батареи.

Составные части ручного коммутатора:

- ЛК1(+ТА-1+АЛ), . . . ,ЛК49(+ТА-49+АЛ)-линейные абонентские комплекты.
- ШП-приборы шнуровой пары.
- РМ-приборы рабочего места телефонистки.

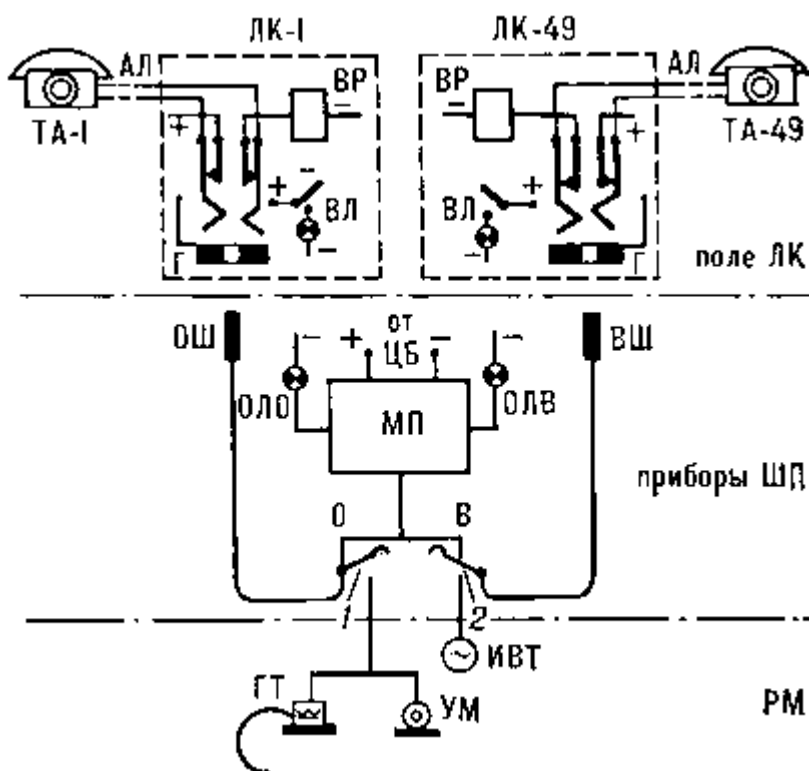


Рис.3. Схема ручного коммутатора.

Подводя итог в рассмотрении первого, второго и третьего рисунков можно ввести понятие доступа к телефонной сети, которое получает абонент.

Понятие сети доступа (СД) обычно ассоциируют с сетью абонентского доступа, понимая под этим линию доступа абонента к ближайшей АТС, или абонентскую линию (АЛ). В этом смысле термин АЛ эквивалентен понятию последняя миля (ПМ, или LM – Last Mile), т.е. участку сети связи от АТС до конечных устройств (ОУ) абонента [1]. Учитывая, что АТС – это узел сети общего пользования, или телефонной сети общего пользования (ТфОП), то СД – это первичная сеть нижнего уровня, подключающая абонентов к ТфОП.

Абонент, использующий АЛ, мог первоначально получить от ТфОП услуги телефонной и факсимильной связи или услуги передачи данных (с помощью

аналогового модема с возможным выходом на локальную и корпоративную сеть или сеть Интернет). В обоих случаях цифровой эквивалент его канала был ограничен скоростью передачи 64кбит/с.

С появлением технологии цифровой сети интегрированного обслуживания (ISDN), используя ту же АЛ, удалось расширить услуги, допуская одновременную передачу голоса и данных, видеоконференц-связь и мультимедиа. Цифровой эквивалент канала абонента, благодаря использованию скорости базового доступа узкополосной ISDN (2x64кбит/с), расширился до 144кбит/с. С появлением широкополосного варианта ISDN услуги были расширены до передачи подвижных видеоизображений, а цифровой эквивалент канала абонента расширился до 2Мбит/с, используя скорости первичного доступа ISDN. Внедрение ISDN позволило широко использовать на АЛ цифровые модемы, работающие на скорости передачи  $n \times 64$  кбит/с (так называемые дробные скорости FE1) вплоть до 2048 кбит/с (первичная скорость E1 иерархии PDH).

С появлением сотовых систем связи возникли сети радиодоступа (СРД), которые с помощью абонентской радиолинии (АРЛ) соединялись с узлом ТфОП (например, АТС), где был установлен BSC – контроллер базовой станции (КБС) радиодоступа. Спектр услуг сети радиодоступа в настоящее время практически тот же, что и у абонентов с АЛ ISDN.

Развитие пассивных оптических сетей (ПОС) и использование оптического волокна (ОВ) на последней миле привело к созданию оптической сети доступа (ОСД), которая подключается к узлам ТфОП через оптическую абонентскую линию (ОАЛ), используя установленные на узлах оконечные устройства оптической линии (OLT). Спектр услуг ОСД является наиболее широким среди всех услуг сетей доступа (и включает аналоговое и цифровое видео) благодаря фактическому отсутствию ограничений на полосу пропускания (BW) оптической среды передачи. На ОАЛ работают оптические модемы (ОМ), называемые также оптоволоконными конверторами (ОВК, или FLC), так как они принимают электрический сигнал и конвертируют его в оптический для передачи в линию связи.

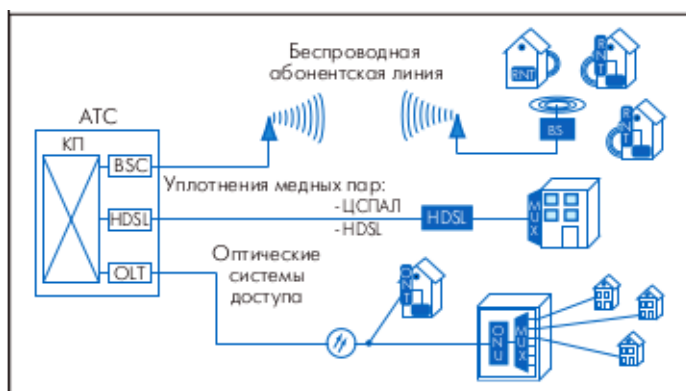


Рис.3. Обобщенная схема технологий организации сети абонентского доступа.

При использовании доступа для получения услуг в своих интересах абонент для управления устройствами и сетью использует элементы и правила (протоколы) управления, которые и образуют общее понятие абонентской сигнализации на абонентской линии — не важно аналоговой или цифровой.

В качестве оконечного оборудования узла доступа может выступать не только АТС сети ТфОП, но и мультиплексоры сетей SDH и WDM. Тогда в качестве устройств доступа, питающих эти сети, могут выступать не только перечисленные выше устройства (имеющие стандартный для глобальных сетей (WAN) интерфейс G.703), но и собственно АТС (учрежденческие или корпоративные), которые могут использовать как интерфейс G.703, так и интерфейсы сети доступа к АТС V5.1/V5.2. Устройством доступа может быть и так называемый "гибкий" мультиплексор (ГМ). "Гибкость" его в том, что он имеет широкий набор интерфейсов, достаточный для подключения любого ("аналогового" или "цифрового") абонента к сети ТфОП или WAN. Его "абонентами" могут быть устройства локальных сетей (ЛВС), включая ПК, сетей X.25 и ISDN, а также ТфОП.

Для мультиплексоров SDH более высокого уровня, например STM-16 (скорость передачи 2,5Гбит/с), в качестве "устройства" доступа может выступать и автономная/локальная сеть доступа, организованная в виде кольца SDH/CWDM (разреженные WDM) с мультиплексорами SDH STM-1/4 новой генерации или мультиплексорами CWDM, оснащенными большим набором интерфейсных карт. В этом случае имеет место организация двухуровневой сети доступа, на первом уровне присоединяется АТС стороннего оператора или учрежденческие АТС (УАТС) с трафиком E1/E3 (2/34Мбит/с); гибкие мультиплексоры (концентраторы) с трафиком nх64кбит/с или E1; ЛВС с трафиком Ethernet 10/100/1000Мбит/с; корпоративные сети с трафиком Frame Relay или ATM; гибридные волоконно-коаксиальные сети (ГВКС) с кабельными модемами (КМ) и прямым/обратным трафиком типа видео по требованию/данные и, наконец, разветвленные ПОС с трафиком последней мили и обратного канала ГВКС. Варианты организации современной сети доступа показаны на рис.4.

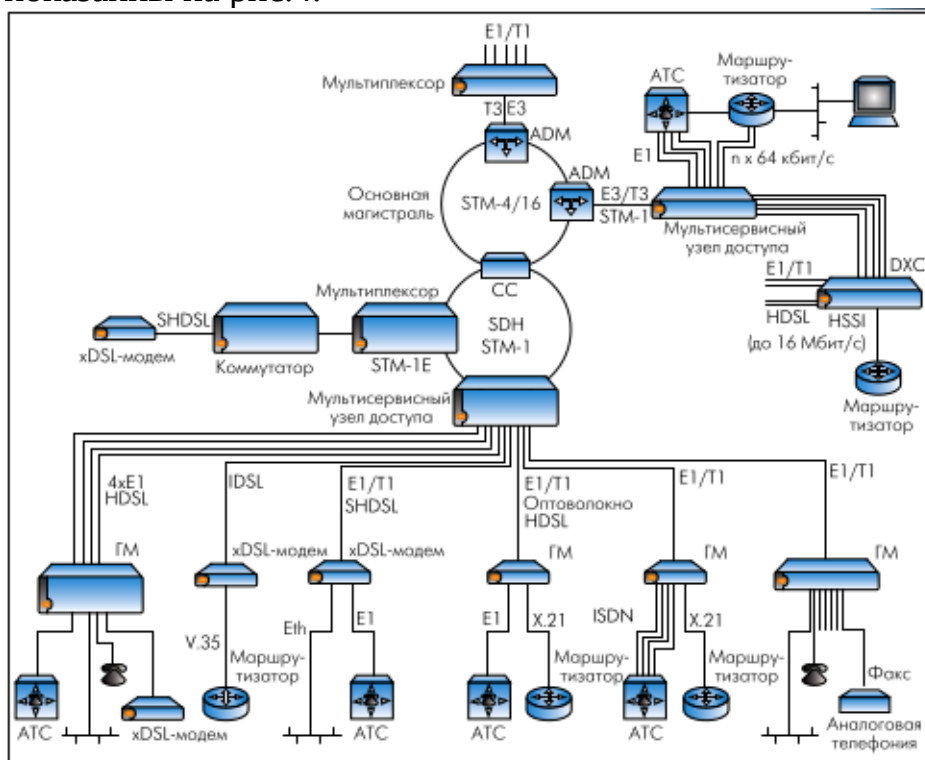


Рис.4. Варианты организации современной сети доступа.

### Классификация сетей доступа

- по используемой среде передачи:

- кабели с медными парами (ТПП (телефонный, полиэтиленовая изоляция, пластмассовая оболочка), неэкранированная витая пара - UTP, экранированная витая пара — STP);
- оптические кабели;
- радио среды в различных диапазонах волн.
- по используемым технологиям;
- по используемой топологии
- по методам разделения среды:
  - TDMA (time-division multiple access) - множественный доступ с временным разделением каналов;
  - CDMA (Code Division Multiple Access) множественный (многостанционный) доступ с кодовым разделением каналов;
  - FDMA (frequency division multiple access) - множественный доступ с частотным разделением;
  - WDM (wavelength-division multiplexing) - спектральное разделение по длинам волн;
  - CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) - множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов.

#### *Классификация услуг, предоставляемых сетями доступа.*

Классификация услуг может быть проведена по нескольким признакам:

- по назначению передаваемой информации;
- по уровням в соответствии с уровневой моделью.
  - Классификация услуг по назначению передаваемой информации:*
    - U (User) - пользовательская информация (данные, видео, речевая информация...);
    - C (Control) - сигнальная информация (для поддержания процедур установления и разъединения соединения);
    - M (Management) - информация управления (для сбора аварийных сигналов, тестирования, администрирования... ).

#### *Абонентские интерфейсы.*

Для более предметного охвата вопроса абонентских интерфейсов рассмотрим типы оборудования, применяемого на сетях абонентского доступа:

- АТС (СО), УАТС (РВХ);
- мультиплексоры ввода-вывода SDH, мультиплексоры CWDM;
- многофункциональные узлы доступа, кросс-коммутаторы (DXC) с гранулярностью потоков 64кбит/с;
- интегрированные/многофункциональные/гибкие мультиплексоры доступа (МД, ГМ);
- мультиплексоры доступа в сети ISDN, Frame Relay, АТМ и IP;
- инверсные мультиплексоры потоков 64кбит/с и E1;
- оборудование сетей ПОС (или PON – passive optical network);
- устройства доступа на скорости E1 и дробный E1 (FE1), nx64кбит/с;
- оборудование радиодоступа;
- коммутаторы Ethernet на оптическом доступе для организации FTTB-сетей;
- мультиплексоры DSLAM и xDSL модемы.

Учитывая огромное разнообразие типов, мы ограничимся рассмотрением ограниченной части такого оборудования.

Модемы сетей доступа.

Если, не рассматривая радиосети, ограничиться только проводными сетями доступа, то в них трафик от конечных пользователей до устройств доступа и обратно может быть доставлен с помощью передающих устройств, называемых модемами. В них используются определенные технологии передачи и методы модуляции-демодуляции. Можно выделить следующие типы цифровых модемов (аналоговые модемы не рассматриваются):

- ISDN-модемы для базового (BRA) и первичного (PRA) доступа;
- модемы для цифровых абонентских линий (DSL, или ЦАЛ); эти модемы (и соответствующие им технологии) имеют различные особенности, области применения и составляют довольно большую группу, называемую обобщенно xDSL-модемами (x заменяет букву, обозначающую подгруппу модемов, например ADSL, SDSL и т.д.);
- кабельные модемы (CM, или KM) для сетей HFC, или ГВКС;
- оптические модемы для PON (ПОС) и оптических последних миль (LM).

Основные характеристики модемов приведены в табл.1 [1].

Таблица 1. Основные типы технологий доступа и параметры используемых модемов.

Система	Скорости, кбит/с		Максимальное расстояние, (для 0,5мм),км	Число каналов	Требуемое число пар	Вид передачи	Среда передачи
	Прямой канал	Обратный канал					
ISDN BRA	128	128	5,4	2	1	Симметричная	Цифровая линия
ISDN PRA	1472/1920	1472/1920	5,4/4,9	23/30	1	Симметричная	Цифровая линия
ADSL/ADSL2	640/936	6000/12000	5,4/2,7	2	1	Асимметричная	2-проводная линия
ADSL2+	936	24000	1,4	2	1	Асимметричная	2-проводная линия
HDSL	1544/2048/2320	1544/2048/2320	4,5/3,6	1	2	Симметричная	4-проводная линия
IDSL	128	128	5,4	1	1	Симметричная	2-проводная линия
M(S)DSL	272–2320	272–2320	4,2	1	1	Симметричная	2-проводная линия
RADSL	128–1024	600–7000	5,4	1	1	Асимметричная	2-проводная линия
SDSL	768	768	3,0	1	1	Симметричная	2-проводная линия
SHDSL	2320/3840/5696	2320/3840/5696	3,0	1	1	Симметричная	2-проводная линия
UDSL	128	128	5,4	1/2	1/2	Симметричная	2-/4-проводная линия
VDSL	1500–2300	13000/52000	1,4/0,3	1	1	Асимметричная	2-проводная линия
HFC	64–2000	27000–36000	15	n	n/p	Асимметричная	Оптоволокно
IMA	nx1544/2048	nx1544/2048	2	1	1	Симметричная	Цифровая линия

Рассмотрим кратко технологии, используемые для передачи, названия которых приведены в табл.1.

- ISDN BRA – ISDN Basic Rate Access – технология ISDN с доступом на базовой скорости. Использует 2 основных цифровых канала (ОЦК) по 64кбит/с, обозначаемых как 2В (128кбит/с), плюс D-канал сигнализации (16кбит/с). В результате формируется канал 144кбит/с. Цифровая линия может быть как двухпроводной, так и четырехпроводной в зависимости от типа стандартного интерфейса сети ISDN, однако для связи с сетью (интерфейс U) используется

двухпроводная линия. Доступ на базовой скорости осуществляется через логический интерфейс BRI (Basic Rate Interface).

- ISDN PRA – ISDN Primary Rate Access – технология ISDN с доступом на первичной скорости. Использует два формата: 23B + D (Америка, Япония), 30B+D (Европа), где D-канал имеет скорость 64 кбит/с. В результате первый формат позволяет передавать 23 канала и соответствует скорости 1536 (1472+64) кбит/с, а второй – 30 каналов и соответствует скорости 1984 (1920+64)кбит/с. Доступ на первичной скорости осуществляется через интерфейс PRI (Primary Rate Interface). Возможен также высокоскоростной доступ на скорости N0 (384=6x64кбит/с) или N12, когда с помощью технологии инверсного мультиплексирования шести или двенадцати каналов ОЦК в режиме ISDN формируется один канал, например для целей высококачественной видеоконференц-связи.

- ADSL (ITU-T G.992.1), ADSL2 (G.992.3), ADSL2+ (G.992.5) – Asymmetric Digital Subscriber Line/Loop – асимметричная цифровая абонентская линия. Это технология широкополосного (ШП) доступа, используемая для работы с сетью Интернет. Она удобна тем, что при малом прямом потоке, формируемом клиентом/пользователем, позволяет выделить больше ресурсов на обратный поток от сетевого сервера к пользователю. Максимальное расстояние зависит не только от диаметра медного провода, но и от скорости. Так, при диаметре 0,5 мм и скорости T1 (1544 кбит/с) это расстояние равно 5,5 км, при скорости E1 (2048 кбит/с) – 4,9 км, при скорости T2 (6312 кбит/с) – 3,7 км и при E2 (8448 кбит/с) – 2,7 км. ADSL интересна тем, что полоса двухпроводной линии делится на три канала: канал тональной частоты (4 кГц, телефонный трафик), прямой канал (восходящий трафик) и обратный канал (нисходящий трафик). Первый канал (телефон) управляется узлами ТфОП (АТС), два последних (каждый в отдельности) – мультиплексором доступа цифровой абонентской линии (DSLAM). То есть технология ADSL позволяет организовать один телефонный канал и один дуплексный асимметричный канал передачи данных, которые разделяются сплиттером.

- HDSL – High bit rate Digital Subscriber Line – высокоскоростная цифровая абонентская линия. Одна из самых старых и простых технологий широкополосного доступа, использует только дуплексную передачу цифровых данных в глобальных и локальных сетях, формируя канал T1/E1 (1544/2048/2320 кбит/с).

- HDSL2 – симметричная двухпроводная HDSL – то же, что и SHDSL (см. ITU-T G.991.2).

- IDSL – ISDN Digital Subscriber Line/Loop – цифровая абонентская линия для технологии ISDN. Предназначена (в соответствии с названием) для доступа в сеть ISDN и формирует тот же канал 128 кбит/с, но он используется только для передачи данных (передача голоса, в отличие от ISDN, не поддерживается [2]).

- M(S)DSL – Multirate (Symmetric) Digital Subscriber Line – многоскоростная (симметричная) цифровая абонентская линия. Поддерживает передачу симметричных дуплексных каналов со скоростью  $n \times 64$  ( $n = 4 \dots 36$ ) по схеме nB+D, допуская объединение в одной физической среде различных видов трафика (речи, данных и видео), требуемого, например, для передачи видеоконференц-связи [2].

- RADSЛ – Rate Adaptive Digital Subscriber Line – цифровая абонентская линия с адаптацией скорости. Вариант ADSL, где скорость может быть изменена с учетом требований среды передачи и используемого приложения. Аналогично ADSL использует двухпроводную линию для передачи данных и голоса.



- SDSL – Symmetric Digital Subscriber Line – симметричная цифровая абонентская линия. Обеспечивает симметричную дуплексную передачу данных со скоростью 768 кбит/с. Эта скорость соответствует еще одному каналу, организованному в рамках ISDN для передачи видеоконференц-связи, – H12. Он формируется инверсным мультиплексором из 12 ОЦК.
- SHDSL – Single-pair High-Speed Digital Subscriber Line – высокоскоростная цифровая абонентская линия на одной паре (см. ITU-T G.991.2). Поддерживает передачу симметричных дуплексных каналов со скоростью до 192–2312/2320–3840/768–5696 кбит/с (в зависимости от типа используемой модуляции) и называется также, как Symmetric High-bit rate Digital Subscriber Line – симметричная высокоскоростная цифровая абонентская линия.
- UDSL – Unidirectional Digital Subscriber Line – однонаправленная цифровая абонентская линия. Аналогична IDSL, но допускает передачу по каждой из двух пар четырехпроводной линии только в одну сторону.
- UDSL – Universal Digital Subscriber Line – универсальная цифровая абонентская линия. Аналогична IDSL, но допускает передачу как по двухпроводной, так и по четырехпроводной линии.
- VDSL – Very high bit rate Digital Subscriber Line – сверхскоростная цифровая абонентская линия. Обеспечивает асимметричную передачу данных аналогично ADSL, но предназначена для передачи по обратному каналу телевизионного сигнала: обычного – 13 Мбит/с на расстояние 1,4 км и высокой четкости (HDTV) – 52 Мбит/с на расстояние до 300 м.
- HFC – Hybrid Fiber Coax (line) – гибридная волоконно-коаксиальная (ГВКС) линия. Технология, использующая трехуровневую структуру взаимодействующих сетей (магистральная транспортная; доступа и распределительная) и смешанную среду передачи: оптоволоконную (на магистральной сети и сети доступа) и коаксиальную (на распределительной абонентской сети). В этой сети прямой (цифровой) канал, от абонента до центральной станции (ЦС), занимает полосу 5–42 (5–65) МГц. Полоса прямого доступа делится пропорционально числу абонентов, пользующихся услугами по методу временного разделения каналов (TDM). В результате определяется скорость прямого канала в расчете на одного абонента (например, от 64 до 2000 кбит/с). Обратный канал занимает полосу 47–750 (91–857) МГц и делится пропорционально числу каналов телевизионного вещания. В результате используемый для передачи кабельный модем должен иметь скорость (с учетом используемой квадратурной модуляции 16/64/256QAM) до 36000 кбит/с. Нужно иметь в виду, что в отечественной терминологии для ГВКС, а также для PON, понятия прямого и обратного каналов меняются местами. Прямым (нисходящим) считается канал ЦС – абонент, а обратным (восходящим) – канал абонент – ЦС, что определяется первичностью сервиса, идущего от ЦС к абоненту, и вторичностью запроса на сервис, идущего в обратном направлении.
- IMA – Inverse Multiplexing over ATM – инверсное мультиплексирование в режиме ATM. Технология передачи, использующая режим асинхронной передачи (ATM) в качестве технологии переносчика при дистанционном доступе, функционировала, как правило, на линиях связи типа T1/E1 (1544/2048 кбит/с), что часто не удовлетворяло требованиям со стороны приложений. Поэтому для обеспечения более высоких скоростей доступа стали применять инверсное мультиплексирование, аналогично тому, как это делается в ISDN, однако в качестве "единичного

мультиплексируемого канала" брали не ОЦК, а канал T1/E1. В результате формировался канал nT1/nE1, который мог достигать уровня T3/E3 (45/34 Мбит/с). Процедура интерливинга при мультиплексировании проводилась при этом на уровне 53-байтных ячеек АТМ.

### Пассивные оптические сети

Появление новых услуг связи и, в частности, интенсивное использование мультимедийного и видеообмена с сетью Интернет привело к существенному росту (вплоть до 1 Гбит/с) требований к скорости обмена, а значит, и к полосе пропускания СД. Удовлетворить их было трудно, используя только технологии xDSL. В этой ситуации оказалась востребованной технология сетей ПОС, или PON, которая возникла в начале 90-х годов прошлого века в связи с развитием оптоволоконных сетей связи.

Сейчас сеть доступа PON – это современная технология построения сети "последней мили" и организации широкополосного доступа по волокну.

Сеть PON использует ОВ в качестве среды передачи, а значит, не имеет ограничений, присущих медной паре или коаксиальному кабелю. Скорости, на которых она может работать, аналогичны тем, что используются системами SDH и WDM.

Архитектура сети строится на основе комбинации возможных элементарных топологий:

- топологии звезды, характерной для центрального узла с единственным разветвителем (S), подключенного через интерфейс OLT к магистральной сети (слева), и отходящих от S сегментов (1:N), соединяющих S по схеме "точка-точка" с абонентскими узлами (ONT<sub>k</sub>) (рис. 5а);
- топологии последовательной цепи (или топологии шины), состоящей из последовательно соединенных (как если бы они были расположены на шине) Y-ответвителей S, началом которой является центральный узел с ответвителем S (снизу), лучи ответвлений которых (идущие к абонентам ONT<sub>k</sub>) расположены вдоль всей цепи (шины) (рис 5б );
- топологии дерева, корнем которого является центральный узел, соединенный по схеме "точка-много точек" с узлами разветвителей (S) и абонентскими узлами (ONT), составляющими крону (листья) дерева (рис. 5в).

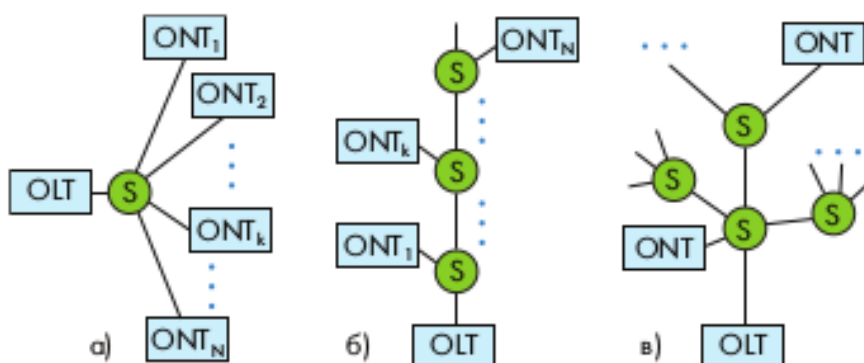


Рис. 5. Топологии PON.

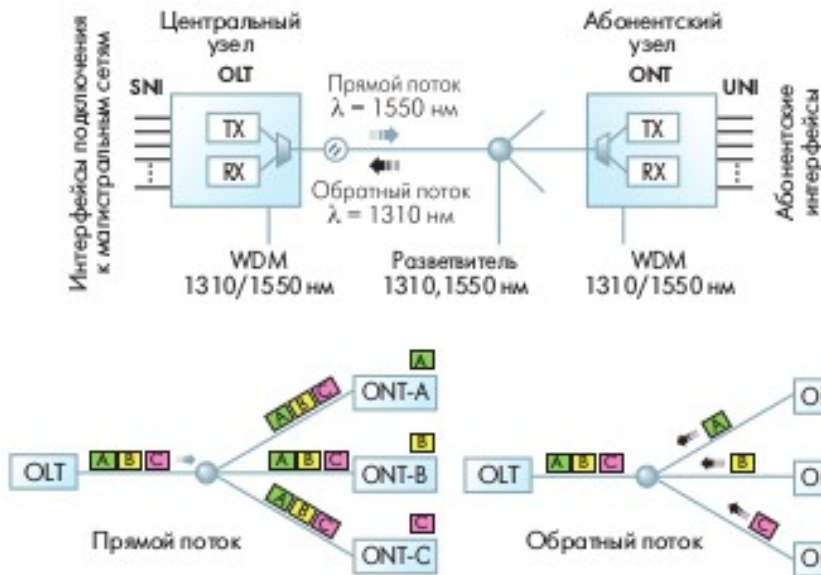


Рис. 6. Принцип работы PON.

### Принцип работы сети PON

Положение центрального и абонентских узлов, терминальных окончаний OLT (оптический линейный терминал) и ONT (оптический сетевой терминал), а также интерфейсов SNI (сервисный сетевой интерфейс) и UNI (интерфейс пользователь-сеть), приведены на рис. 6. Нисходящий (прямой) поток от центрального узла обычно имеет скорость STM-4/16 (0,622/2,5 Гбит/с) и передается по ОВ (на длине волны 1550 нм) до точки разветвления на пассивный оптический разветвитель, который делит этот поток на несколько (до 32 или до 64) потоков, поступающих на ONT, установленный в помещении абонента. Восходящие (обратные) потоки от абонентов (на длине волны 1310 нм) собираются с помощью технологии множественного доступа с временным разделением (TDMA) в агрегатный поток на скорости 622 Мбит/с. Конвертирование оптических сигналов в электрические и обратно осуществляется оборудованием ONT.

Один сегмент сети PON, оканчивающийся узлом разветвления, может, в соответствии со стандартом ITU-T G.983.x, охватить, используя, например, 5-уровневое бинарное дерево, 32 абонентских узла ( $2^5=32$ ) в радиусе 20 км. Один абонентский узел, используя мультиплексор/демультиплексор WDM и интерфейсы UNI, способен обслужить десятки абонентов (жилой дом или офис). Предоставляемые сервисы PON на рис. 6 зависят от того, к каким сервисным сетям (ATM, SDH, Ethernet) подключен центральный узел и какие сервисные интерфейсы SNI реализованы на его входах: E (Ethernet), FE (быстрый Ethernet), GE (гигабитный Ethernet), FXS (аналоговый интерфейс для подключения ТА к цифровому мультиплексору), E1, PAL (интерфейс стандарта цветного ТВ), DVB-ASI (асинхронный последовательный интерфейс цифрового телевизионного вещания) и др.

### Стандарты и протоколы взаимодействия в сети PON.

Для сетей PON Консорциум FSAN разработал ряд стандартов, описывающих протоколы взаимодействия абонентского узла с центральным узлом. Первыми были стандарты ITU-T G.983.1, описывающий A-PON (ATM PON) – сети PON на основе

технологии ATM (10.98), и G.983.2, описывающий интерфейс управления и менеджмента для терминала ONT (04.00). Затем появился стандарт G.983.3, увеличивающий набор услуг и ширину используемой полосы (03.01), который трансформировался в новую версию PON – Broadband PON (B-PON) – широкополосная PON (G.983.4–G.983.10).

B-PON допускает динамическое распределение полосы (DBA) в зависимости от типа приложений, поддерживает магистральные интерфейсы SDH (STM-1), ATM (STM-1/4), FE, GE, SDI PAL, E1, E (10/100Base-TX) и телефонию (FXS).

Логичным развитием B-PON (в рамках стандартизации ITU-T) стала технология G-PON – Gigabit PON (03.03) – гигабитная PON (G.984.1–G.984.4), допускающая увеличение скорости до 2,5 Гбит/с, симметричный и асимметричный варианты использования прямого и обратного каналов, а также применение стандартной процедуры инкапсуляции данных GEM в полезную нагрузку.

Учитывая важность развития оптических сетей Ethernet в рамках PON-технологии, дающей возможность передавать трафик не только гигабитного Ethernet (GE), но и 10-гигабитного Ethernet (10GE), комитет стандартов IEEE создал комиссию EFM – Ethernet на первой миле и сформировал Альянс EFM (EFMA), разработавший соответствующий стандарт GE (скорость в сети до 1,25 Гбит/с), см. IEEE 802.3ah. Частью этой разработки стала технология E-PON – Ethernet PON. Эта технология определяется как оптоволоконная сеть, использующая волновое мультиплексирование WDM трех несущих: 1490 нм для прямого канала, 1310 нм для обратного канала и 1550 нм для дополнительных услуг (КТВ или частных каналов). Физический уровень (E-PON PMD) предусматривает интерфейсы класса 1 (расстояние до 10 км) и класса 2 (до 20 км) с одинаковыми коэффициентами разветвления 1:16.

E-PON использует стандартную архитектуру PON по схеме на рис. 5в, однако внутри дерева PON кадры Ethernet передаются без сегментации и последующей сборки (SAR) – механизма ATM, характерного для A-PON, что делает E-PON максимально близким к Ethernet IEEE 802.3.

Для организации взаимодействия центрального узла с абонентскими узлами Институт IEEE разработал протокол многоточечного управления (MPCP), имеющий два режима работы: инициализации, используемого для обнаружения и регистрации новых узлов ONT, и нормального функционирования, допускающего два режима работы – стандартный метод случайного доступа CSMA/CD и полнодуплексный метод коммутации с топологией "точка-точка" (для 10GE применяется только последний метод).

Рассмотрим и вспомним принципиальные отличия построения сетей.

Сети коммутации каналов.

Они создаются благодаря физическому соединению клиентов на то время, когда будут передаваться сообщения. Как это выглядит на практике? В таких случаях для отправки и получения информации от точки А до точки Б создаётся прямое соединение. Оно включает в себя каналы одного из множества (как правило) вариантов доставки сообщения. И созданное соединение для успешной передачи должно быть неизменным в течение всего сеанса. Но в таком случае проявляются довольно сильные недостатки. Так, при большой нагрузке на сеть приходится относительно долго ожидать соединения. Это сопровождается высокой стоимостью передачи данных и низким коэффициентом использования канала. Поэтому

использование сетевых технологий данного типа в настоящий момент устарело и не перспективно, но эксплуатация сетей построенных по этому принципу продолжается весьма успешно.

Сети коммутации сообщений.

В этом случае вся информация передаётся небольшими порциями. Прямое соединение в таких случаях не устанавливается. Передача данных осуществляется по первому же свободному из доступных каналов. И так до тех пор, пока сообщение не будет передано своему адресату. Узлы или сервера при этом постоянно занимаются приёмом информации, её сбором, проверкой и установлением маршрута. И в последующем сообщение передаётся далее. Из преимуществ необходимо отметить низкую цену передачи. Но в таком случае всё ещё существуют такие проблемы, как низкая скорость и невозможность осуществления диалога в режиме реального времени.

Сети коммутации пакетов.

Это самый совершенный и популярный на сегодняшний день способ. Развитие сетевых технологий привело к тому, что сейчас обмен информацией осуществляется посредством пакетов информации фиксированной структуры. Что же они собой представляют? Пакеты – это части сообщений, что удовлетворяют определённому стандарту. Небольшая их длина позволяет предотвратить блокировку сети. Благодаря этому уменьшается очередь в узлах коммутации. Осуществляется быстрое соединение, поддерживается невысокий уровень ошибок, а также достигнуты значительные высоты в плане увеличения надёжности и эффективности сети. Следует отметить и то, что существуют различные конфигурации этого подхода к построению. Так, если сеть обеспечивает коммутацию сообщений, пакетов и каналов, то она называется интегральной, то есть можно провести её декомпозицию. Часть ресурсов при этом может использоваться монопольно. Так, некоторые каналы могут применяться для того, чтобы передавать прямые сообщения. Они создаются на время передачи данных между разными сетями. Когда сеанс отправки информации заканчивается, то они распадаются на независимые магистральные каналы. При использовании пакетной технологии важным является настройка и согласование большого количества клиентов, линий связи, серверов и целого ряда иных устройств. В этом помогает установление правил, которые известны как протоколы. Они являются частью используемой сетевой операционной системы и реализуются на аппаратном и программном уровнях.

*Вывод*

В ходе рассмотрения материала проведено ознакомление с абонентским доступом, как способом доставлять услуги связи абонентам, обобщенно рассмотрены технологии построения сетей в зависимости от среды передачи сигнала, перечислены основные стандарты ИТУ-Т для различных технологий построения абонентских сетей доступа.

## Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»  
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович  
Тема: **Сеть абонентского доступа, как часть сети оператора связи.**

### Учебные вопросы:

1. Место абонентского доступа в операторской системе.
2. Сеть абонентского доступа, состав и устройство сети.
3. Линии связи и кабельное хозяйство.
4. Разновидности сетей доступа по применяемым технологиям связи.
5. Понятие узла доступа. Разновидности узлов доступа в телекоммуникационных сетях.
6. Связность и резервирование трафика в узлах доступа.

### Литература:

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2012. – 943 с.

### **1. Место абонентского доступа в операторской системе.**

Для эксплуатируемой в настоящее время операторской телекоммуникационной сети в современных публикациях существуют различия в трактовке места и роли сети абонентского доступа, связанные с тем, что меняется не только роль сети доступа, но в большинстве случаев расширяется и территория, в границах которой создается такая операторская сеть предоставления услуг абонентам оператора.

Чтобы определить место сети абонентского доступа рассмотрим элементный состав современной телекоммуникационной сети предприятия-оператора связи в виде перспективной модели сетевой структуры. Модель представлена в табл.1.

Обозначим основной функционал сети абонентского доступа:

- обеспечить надежное подключение абонента к выбранным им услугам предприятия-оператора связи;
- обеспечить с требуемым или заданным качеством передачу информационного трафика по всем видам выбранных абонентом операторских услуг одновременно;
- обеспечить за декларированное оператором надежное управление выбранными абонентом услугами;
- обеспечить абонента необходимыми ему при самостоятельном управлении услугами подсказками или другим сервисом, обеспечивающим правильные действия абонента, и не приводящие к дополнительным финансовым затратам абонента, кроме как по его собственному выбору;
- обеспечить абонента сервисом по нормированному по времени устранению повреждений на сети, даже если эти повреждения вызваны неправильными действиями абонента;
- обеспечить защиту от несанкционированного доступа к абонентскому трафику в зоне ответственности предприятия-оператора связи.

Таблица 1. Место сети абонентского доступа в операторской сети.

ТВ-приемник	Последний дюйм	Оборудование в помещении абонента	Зона ответственности абонента
SetTopBox			
Стационарные компьютеры и мобильные устройства			
Сетевые устройства и шлюзы, включая внутриквартирный кабель и патчкорды			
Телефоны и устройства VoIP			
Пограничный маршрутизатор абонента (ONT или модем)			
Абонентская розетка			
Абонентская проводка (кабель или патчкорд)	Последняя миля	Абонентская линия, включая транзитную сеть или передачу.	Сеть абонентского доступа
Абонентская коробка (или разветвитель или сплиттер)			
Кабель распределения			
Распределительный шкаф			
Кабель передачи			
Сеть переноса или устройства концентрации нагрузки (могут отсутствовать)			
Распределительный шкаф			
Кабель магистрали	Узел доступа	Оборудование узла доступа оператора	Зона ответственности оператора связи
Кросс узла доступа			
Станционный кабель			
Оконечное оборудование доступа на узле доступа	Ядро и магистральная сеть	Оборудование и сети межстанционной (меж узловой) связи	Вторичная операторская сеть
Магистральный маршрутизатор или коммутатор агрегации абонентской нагрузки			
Операторская сеть присоединения узла включая транзитные маршрутизаторы или коммутаторы агрегации абонентской нагрузки			
Маршрутизатор или коммутатор ядра операторской подсистемы	Ядро и магистральная сеть	Оборудование ядра сети	Ядро операторской сети
Операторские подсистемы и сети формирования услуг			
Оборудование VoIP - softswitch, IPTV - MiddleWare, billing – Radius и прочие серверы приложений, включая видеокодеры местного ТВ-контента, VoD, IVR, . . .	Ядро и магистральная сеть	Оборудование ядра сети	Ядро операторской сети
Магистральные сети и линии присоединения оператора			

## 2. Сеть абонентского доступа, состав и устройство сети.

**Сеть абонентского доступа** - это совокупность технических средств между оконечными абонентскими устройствами, на которых предоставляется услуга, установленными в помещении пользователя, и тем коммутационным оборудованием, в план нумерации (или адресации) которого входят подключаемые к телекоммуникационной системе терминалы и устройства.

Независимо от перехода к разным, в том числе и перспективным технологиям связи, на сети оператора выработались определенные устойчивые термины и определения участков сети, которыми и обозначают состав или элементы сети. Перечислим их.

- Узел доступа (УД) — местная станция (МС), к которой подключаются абонентские линии зоны обслуживания. Варианты — для ГТС - АТС, РАТС, ОПС, ОПТС, ОС для СТС - оконечные (ОС), узловые (УС) и центральные (ЦС) станции. В англ. техдокументации "местная станция" - Local exchange (LE) или Central Office (CO).
- Абонентская линия (АЛ) — линия операторской сети доступа соединяющая оконечное абонентское устройство со стационарным оконечным оборудованием доступа. Может быть проводной (симметричный кабель или коаксиальный кабель), оптической (оптоволокно) или радиолинией.
  - Стационарный участок АЛ - участок абонентской линии от оборудования узла доступа местной станции, концентратора или иного выносного модуля до стационарной стороны кросса.
  - Линейный участок АЛ - участок абонентской линии от линейной стороны кросса или вводно-коммутационного устройства узла доступа, концентратора или иного выносного модуля до розетки (или иного аналогичного элемента) оконечного абонентского устройства сети в помещении абонента.
    - Магистральный участок АЛ - участок абонентской линии от линейной стороны кросса или вводно-коммутационного устройства местной станции, концентратора или иного выносного модуля до распределительного шкафа, включая участки межшкафной связи. Магистральному участку АЛ соответствует термин "Main cable". Магистральным участком считается также зона прямого питания, в пределах которой для построения абонентской сети распределительные шкафы не используются. Зона прямого питания занимает территорию, примыкающую к телефонной станции в радиусе примерно до 500 метров. В англоязычной технической литературе для обозначения этого участка абонентской сети используются слова "Direct service area".
    - Распределительный участок АЛ - участок абонентской линии от распределительного кабельного шкафа до



абонентского пункта. Этому участку АЛ - в зависимости от структуры сети доступа - соответствуют термины "Primary distribution cable" и "Secondary distribution cable". А часть площади, занимаемой распределительным участком, называется обычно "Cross-connection area".

- Абонентская проводка - участок абонентской линии от распределительной коробки до розетки включения оконечного абонентского телефонного устройства. В англ. технической литературе используются два термина:
  1. - "Subscriber's lead-in" - участок от распределительной коробки до помещения абонента;
  2. - "Subscriber's service line" - участок от распределительной коробки до телефонного аппарата.

### **3. Линии связи и кабельное хозяйство.**

После пояснения терминов связанных с АЛ продолжим рассмотрение устойчивых терминов и определений других элементов и устройств линий связи и устройств кабельного хозяйства и инфраструктуры.

Кросс, ВКУ - оборудование стыка станционных и линейных участков абонентских и соединительных линий городских, сельских и комбинированных телефонных сетей. Этот элемент сети доступа в англ. техн. документации называется "Main distribution frame"; часто используется аббревиатура MDF. Для коммутации потоков E1 используются так же кроссы MDF, но обычно они монтируются в стандартных 19inch стойках 8-ми парными плинтами и кроссировки на них выполняются специальным 2-х проводным экранированным кабелем. Такой кросс еще часто называют цифровым кроссом. Этому элементу транспортной сети соответствует термин "Digital Cross Connect", имеющий несколько аббревиатур, из которых чаще всего используются DSC и DXC. Для оптических линий и распределительных сетей используют оптические кроссы различной конструкции, чаще всего под унифицированные розетки FC, SC или LS, в зависимости от назначения и обозначают как ODF.

Кабельный распределительный шкаф (ШР) - оконечное кабельное устройство, предназначенное для установки кабельных боксов (с плинтами, без элементов электрической защиты), в которых осуществляются соединения магистральных и распределительных кабелей абонентских линий местных телефонных сетей. Кабельному распределительному шкафу соответствует термин "Cross-connection point". Если АЛ проходит через два ШР, то в англ. техн. литературе - для второго шкафа - добавляют прилагательное "secondary". Кроме того, если ШР находится в специально оборудованном помещении, то он именуется как "Cabinet". В том случае, когда ШР располагается у стены здания или иного подобного места, он называется "Sub-cabinet" или "Pillar". Эти обозначения обычно указываются в скобках после функционального назначения - "Cross-connection point". В технической литературе используется еще несколько терминов, более или менее соответствующих ШР. Чаще всего встречается слово "Curb". Бывают как для медных, так и для оптических кабельных линий.

Абонентская распределительная коробка (РК) - оконечное кабельное устройство, предназначенное для осуществления стыка кабельных пар, включенных в плинт распределительной коробки, с однопарными проводами абонентских проводок. Distribution point (DP) - аналог термина "Абонентская распределительная коробка". Бывают разного типа как для медных, так и для оптических распределительных кабельных линий.

Кабельная канализация - совокупность подземных трубопроводов и колодцев (смотровых устройств), предназначенных для прокладки, монтажа и технического обслуживания кабелей связи. Термин "Кабельная канализация" в англ. технической лит-ре используется в двух вариантах: "Duct" или "Cable duct".

Колодец (смотровое и/или поворотное устройство) кабельной канализации - устройство, предназначенное для прокладки кабелей в трубопроводы кабельной канализации, монтажа кабелей, размещения сопутствующего оборудования и технического обслуживания кабелей связи. Словам «Кабельный колодец» в англ. термин. эквивалентны два термина: "Jointing chamber" или "Jointing manhole". Для оптических линий кроме колодцев, используют КОТы - камера оптическая трубопроводная - предназначена для строительства электрических и телекоммуникационных кабельных сетей в качестве смотрового устройства кабельной канализации, для защиты муфт и технологического запаса кабеля от внешних воздействий (включая грызунов) в местах стыковки рабочих длин кабеля, проложенного в защитных полиэтиленовых трубах (ЗПТ).

Кабельная шахта - сооружение кабельной канализации, размещаемое в подвальном помещении узла доступа, через которое кабели вводятся в здание станции и в котором, как правило, многопарные линейные кабели в п/э распаиваются на станционные кабели в пхв емкостью 100 пар. Этот термин в англ. языке обозначается словами "Exchange manhole". Для небольших по абонентской емкости узлов доступа вместо кабельной шахты используется кабельный пристанционный колодец или кабельный пристанционный приямок по типу КОТа, только для размещения одной или двух-трех кабельных муфт.

Кабельная канализация, колодцы и кабельная шахта традиционно относятся к элементам кабельной инфраструктуры.

Инфраструктура — это совокупность сооружений, зданий, систем и служб, необходимых для функционирования отраслей материального производства и обеспечения условий жизнедеятельности общества, включая капитальное оборудование, используемое для предоставления общественно доступных услуг, таких как транспорт и телекоммуникации, газо-, электро- и водоснабжение. Все это создаёт необходимую основу для других видов экономической деятельности в современных странах; их отсутствие или ненадежность является помехой для развития. Услуги инфраструктуры обычно либо предоставляются, либо регулируются государством.

Зона покрытия узла доступа — ранее «пристанционный участок» - территория, в пределах которой все абонентские линии подключаются к данному узлу доступа. В англ. тех. док. используется термин "Local exchange area".

#### **4. Разновидности сетей доступа по применяемым технологиям связи.**

Если рассматривать применяемые операторами связи на своих сетях технологии, то необходимо учитывать следующие факторы и изменения, которые и повлияли на выбор самих технологий, а они следующие:

- на рынке телекоммуникаций произошло существенное снижение цен на оптоволоконные кабели;
- значительно вырос спрос и он продолжает увеличиваться или становится стабильным на новые услуги связи (доступ в INTERNET и получение мультимедийных услуг, как по выделенным сетям, так и через INTERNET);
- произошел рост удельной терминальной нагрузки абонентских устройств и изменились статистические свойства этой нагрузки (произошло увеличение коэффициента пачечности);
- произошло широкое внедрение беспроводного абонентского доступа (WLL);
- произошел переход практически всех услуг на пакетные транспортные технологии;
- в условиях существования гетерогенных сетей произошло усложнение в связи с этим систем мультиплексирования, шлюзования (сопряжения сетей) и передачи информации между терминалом пользователя и узлами операторских магистральных сетей;
- в условиях рынка стабилизировалось требование снижения эксплуатационных расходов на сети доступа за счет внедрения автоматизированных средств управления сетью и протоколов для поддержки функций TMN (Telecommunication Management Network).

Учитывая перечисленные факторы у ведущих операторов связи на сетях абонентского доступа сложились следующие предпочтения по используемым и развиваемым технологиям:

- в местах плотной городской и поселковой застройки — PON;
- в местах городской и поселковой застройки меньшей плотности, при условии сохранения элементов старой кабельной инфраструктуры FTTB;
- для поселковой застройки низкой плотности — WLL, либо при наличии в зоне доступности PON или FTTB продление фрагментов сетей или применение совместно WLL и FTTB;
- для районов с развитой кабельной сетью хорошего качества xDSL, в основном ADSL;
- технологии сотовой связи 2G-4G.

Продолжают эксплуатироваться сети традиционной телефонии и ЦСИО, телеграфные сети АТ и ТгОП, кабельного телевидения с DOCSIS от 1.0 до 3.0, DECT и другие разновидности радио доступа начиная от радио удлинителей и до WiMax.

## **5. Понятие узла доступа. Разновидности узлов доступа в телекоммуникационных сетях.**

Узел доступа (*Service node (SN)* - узел служб) - элемент операторской сети доступа (*Access network (AN)*), представляющий собой совокупность технических средств оператора связи (с необходимыми элементами инфраструктуры), обеспечивающий подключение абонентов в зоне своего покрытия и доступ к задекларированным услугам электросвязи оператора.

Узлы доступа в настоящее время условно можно разделить на несколько типов:

- первый тип — как правило городской узел связи (обычно бывшая ГТС или РАТС емкостью около 10 тыс. NN и более) в которой сосредоточен полный набор технологий и услуг предоставляемых оператором связи, такой узел имеет все необходимые элементы инфраструктуры;
- второй тип — бывший городской или районный узел емкостью до 5 тыс. NN, имеющий как правило полный набор услуг, но с ограниченным набором технологий доступа, оптимизированным под сети и спрос на услуги в зоне покрытия узла,
- третий тип — малый узел доступа, как правило сельский или поселковый емкостью около 1000 NN и менее, может иметь не полный набор услуг и ограниченный набор технологий доступа;
- четвертый тип — шкафной узел доступа (может иметь название вынос) предназначенный для присоединения абонентов определенного микрорайона или дома (группы домов), также может быть ограничен как по услугам, так и по технологиям доступа.

Узлы доступа с первого по третий тип размещаются в приспособленных под размещение оборудования помещениях с необходимыми элементами инфраструктуры. Третий тип может размещаться в специализированном контейнере. Более подробно рассмотрим их на следующей лекции.

## **6. Связность и резервирование трафика в узлах доступа.**

Для рассмотрения вопросов связности и резервирования трафика в узлах доступа вспомним материал касающийся топологий сетей доступа и методы доступа, применяющиеся на сетях.

Топология сети.

Конфигурация связей между сетевыми узлами называется топологией сети. Термин топология заимствован из геометрии и используется для описания формы объекта. Сетевая топология - это геометрическая форма (или связность) сети.

Термин «сетевая топология» описывает возможные конфигурации построения сетей. Специфика сетевых технологий состоит в необходимости строгого согласования всех характеристик аппаратных и программных сетевых средств для успешного обмена данными и сигналами. При этом существующие аппаратные средства способны обеспечивать различные возможности (скорость, надежность и т.п.) по передаче данных в зависимости от способа использования этих устройств.

Для учета всех этих особенностей режимов работы оборудования и было введено понятие «сетевая топология». В настоящее время для описания конфигурации сети используют два вида топологий: физическую и логическую.

Физическая топология описывает реально используемые способы организации физических соединений различного сетевого оборудования (используемые кабели, разъемы и способы подключения сетевого оборудования). Физические топологии различаются по стоимости и функциональности. Далее рассмотрим описание наиболее часто используемых физических топологий с указанием их преимуществ и недостатков и их варианты в развитии.

Логическая топология определяет реальные пути движения сигналов при передаче данных по используемой физической топологии. Таким образом, она описывает пути передачи потоков данных между сетевыми устройствами, а также определяет правила передачи данных в существующей среде передачи с гарантированием отсутствия помех, влияющих на корректность передачи данных. Поскольку логическая топология описывает путь и направление передачи данных, то она тесно связана с уровнем MAC (Media Access Control) модели OSI (подуровень канального уровня). Для каждой из существующих логических топологий существуют методы контроля доступа к среде передачи данных (MAC), позволяющие осуществлять мониторинг и контроль процесса передачи данных. Эти методы будут рассмотрены вместе с соответствующей им топологией.

Виды физических топологий.

В основе физических топологий лежат три разновидности, они следующие:

- 1) шина;
- 2) звезда;
- 3) кольцо.

Топология «Шина».

Пример приведен на рисунке 1.

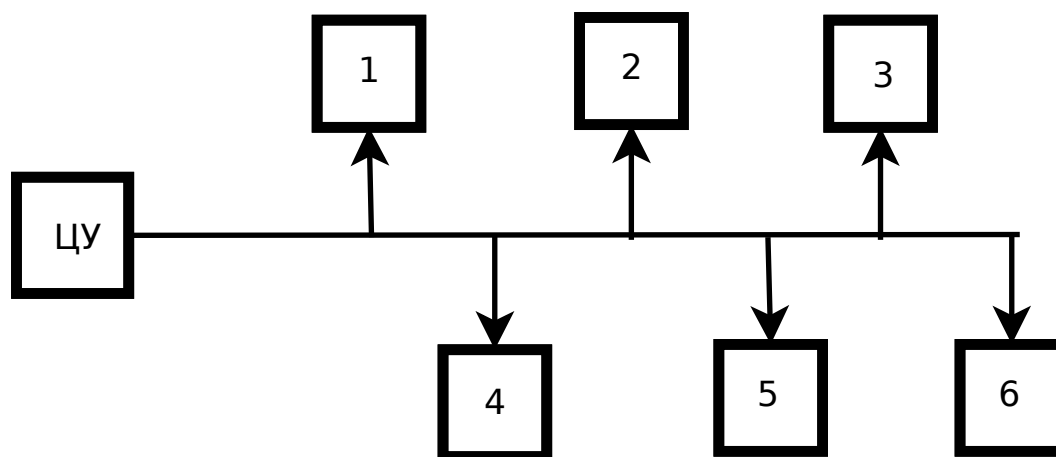


Рис. 1. Пример топологии «Шина».

Топология построения сети «шина» сейчас встречается все реже и реже. Она состоит из единой длинной магистрали, к которой подключены все узлы (сетевые устройства).

В этой системе, как и в других, данные отправляются вместе с адресом получателя. В топологии «общая шина» все сообщения, посылаемые отдельными узлами (устройствами), подключенными к сети, принимаются одновременно всеми остальными узлами (устройствами). Но поскольку сообщение включает адреса станций отправителя и адресата, то другие станции это сообщение игнорируют. Это метод множественного доступа. При нем перед началом передачи рабочее устройство узла определяет, свободен канал или занят. Если свободен, то станция начинает передачу. Надежность здесь выше, так как выход из строя отдельных узлов (устройств) не нарушит работоспособности сети в целом. Поиск неисправностей в кабеле при этой топологии затруднен. Кроме того, в случае обрыва кабеля у центрального узла нарушается работа всей сети, так как используется только один кабель. К достоинствам топологии «шина» можно отнести то, что устанавливается и настраивается такая сеть достаточно быстро. К тому же установка будет довольно дешевой. Если выйдет из строя один из узлов (сетевых устройств), сеть продолжит работать в обычном режиме. Подключение нового узла можно производить в рабочем порядке. Сеть будет функционировать. Увеличение количества узлов снижает производительность сети, а также приводит к задержкам при передаче информации.

Топология «Звезда».

Пример приведен на рисунке 2.

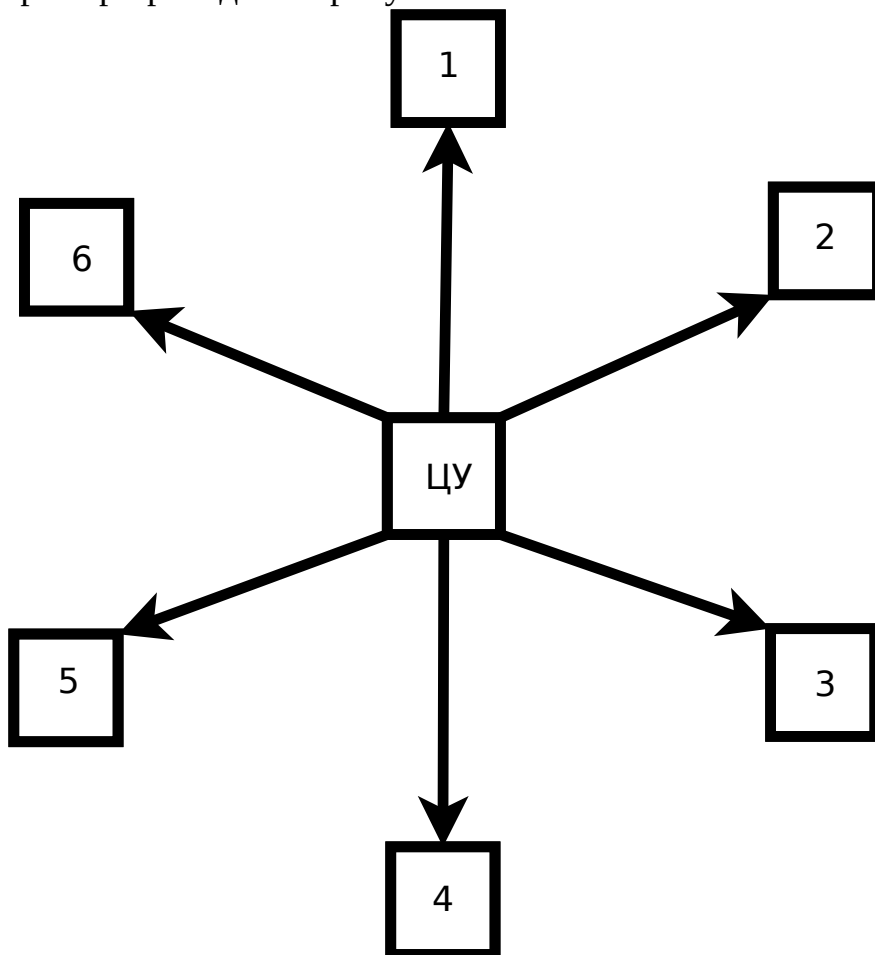


Рис. 2. Пример топологии «Звезда».

«Звезда» - ранее применялось название радиальная топология.

Топология построения сетей «звезда» – структура, центром которой служит центральный узел (устройство). Все узлы присоединены к нему отдельными линиями. Весь трафик проходит через центральный узел звезды. В сетях с топологией «звезда» подключение кабеля и управление конфигурацией сети централизованны. Если выйдет из строя только один периферийный узел (или кабель, соединяющий его с ЦУ), то лишь данный узел не сможет передавать или принимать данные по сети. На остальные узлы в сети это не повлияет, чем и достигается достаточный уровень надежности сети. Также к такой сети легко можно подключить и новый узел. При подключении нового оборудования остальные узлы продолжают работать в обычном режиме. В такой топологии сети легко находить неисправности. Пожалуй, одно из главных достоинств «звезды» – это ее высокая производительность (при условии обеспечения ее ЦУ). Но с точки зрения узловой надежности эта топология не является наилучшим решением, так как выход из строя центрального узла приведет к остановке всей сети. В ней есть ограничения и по подключаемым рабочим станциям. Их не может быть больше имеющегося количества портов на коммутирующем устройстве. И последний недостаток сети – ее стоимость. Требуется достаточно большое количество кабеля, чтобы подключить каждый узел.

Топология «Кольцо».

Пример приведен на рисунке 3.

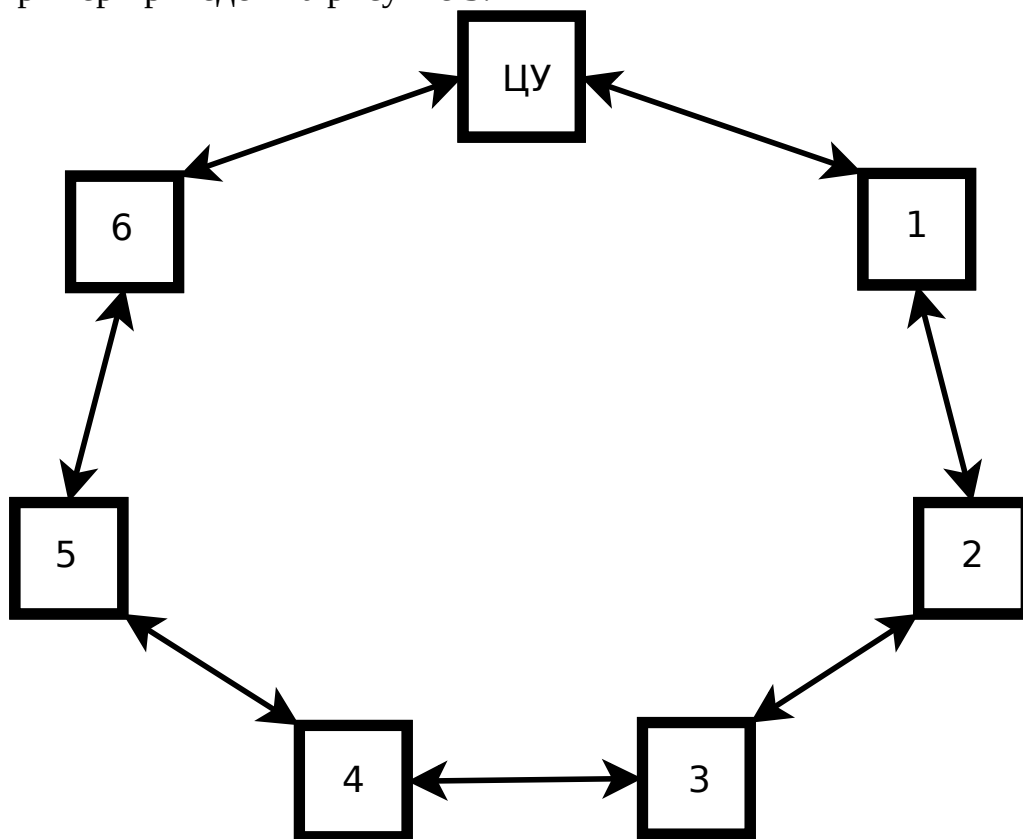


Рис. 3. Пример топологии «Кольцо».

Топология «Кольцо» - ранее применялся термин петлевая топология. Одна из наиболее применяемых в операторских сетях топологий как для синхронных, так и для асинхронных технологий передачи. Широко используется в сетях SDH. Такая топология не допускает перегрузки на сети. То есть они возможны на отдельных узловых мультиплексах или коммутаторах, но на всю сеть, как правило, это

влияние не оказывает. Данные передаются последовательно от центрального узла к первому узлу и далее с трансляцией к следующему. Направление передачи может быть как в одну, так и в обе стороны. Поэтому надежность доставки повышена. При однократном секционном обрыве кабеля связь с узлом не теряется, и данные доходят до узла по другой ветке. При такой топологии время доставки данных почти соответствует времени распространения сигнала, то есть весьма незначительно и может быть нормированным по величине «не более чем». При этой топологии относительно простая и логическая организация сети. Но такая сеть требует внимательного подхода к вопросу своей синхронизации, и при нормальной настройке синхронизации работает очень надежно, но стоит допустить ошибку синхронизации на одном из узлов и сеть может выйти из строя целиком.

Топология «Цепь».

Пример приведен на рисунке 4.

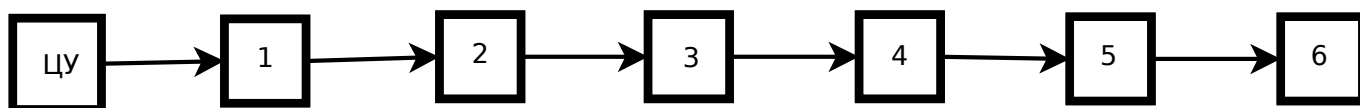


Рис. 4. Пример топологии «Цепь».

Топология «Цепь» - другое название линейная топология. Как видно из рисунка — последовательное включение узлов друг за другом. Простое построение сети, но непростая настройка даже для фиксированного набора услуг, а при появлении специально выделенных связей под каждый узел необходима своя специализированная конфигурация. Надежность сети низкая, при выходе из строя одного узла — все, что за ним так же не работает. Следующий недостаток — лавинообразный рост трафика от дальнего узла к ближнему по направлению к центральному. Возможны значительные перегрузки. В асинхронных сетях применяется часто, особенно при расширении сетей. Работает принцип «последнего свободного порта» - в него включают следующий коммутатор или узел и так далее. Если такое происходит не в конечных, а в промежуточных узлах, то топология автоматически превращается в худший вариант иерархической топологии.

«Иерархическая» топология.

Пример приведен на рисунке 5.

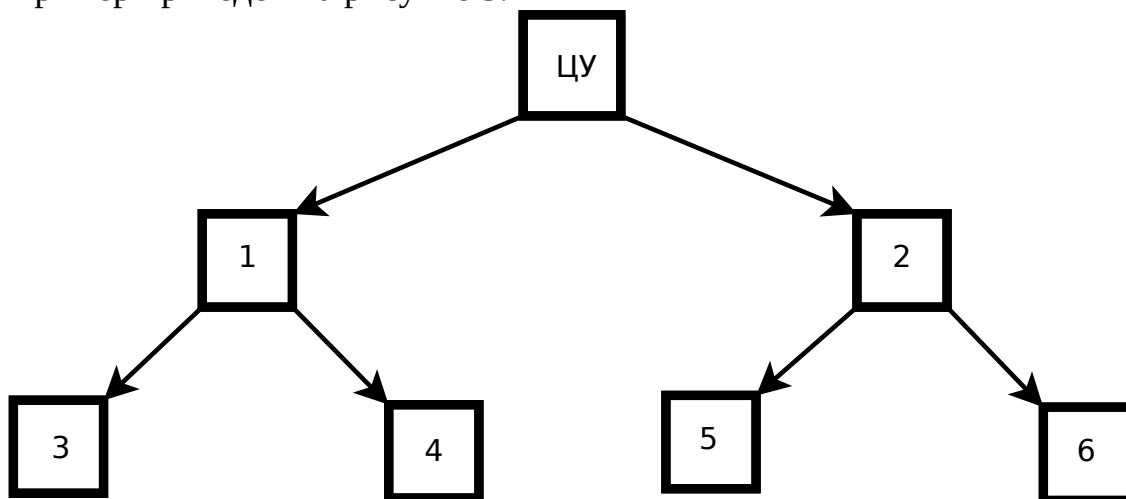


Рис. 5. Пример «Иерархической» топологии.

«Иерархическая» топология — топология связующего дерева или радиально-узловая топология.



«Иерархическая» топология является привлекательной с точки зрения простоты управления, однако, она несет в себе потенциально трудно разрешимые проблемы (например, проблемы готовности сети). В некоторых случаях самый верхний сетевой узел (например, Softswitch) управляет распределением всех потоков информации в сети. При централизованном управлении могут возникать перегрузки (при накоплении ошибок в процессе управления ресурсами) и понижаться готовность сети из-за запаздывания реакции системы управления. В случае отказа верхнего уровня функции сети нарушаются полностью, если не предусмотрен резервный узел.

Весь трафик проходит через центральный узел. Часто он представляет собой центральный маршрутизатор (Router). Следовательно, его функции - функции верхнего уровня иерархической топологии — обеспечить все функции и трафик для всех, а это не всегда возможно по причине ограниченных возможностей распределенной обработки.

При необходимости так можно объединять вместе несколько сетей с топологией «звезда», при этом получаются иерархические разветвленные конфигурации сети.

У данной топологии есть ряд достоинств. Несомненным преимуществом является то, что узлы одного уровня иерархии не зависят друг от друга. При поломке одного из них выходит из строя только подчиненная по иерархии сеть, а сама сеть остается в рабочем состоянии. К такой сети легко можно подключить новый узел. Однако при всех достоинствах у такого типа сетей имеются и недостатки. Если выйдет из строя центральное коммутирующее устройство, то перестанет работать и вся сеть.

Полносвязная топология.

Пример полносвязной топологии приведен на рисунке 6.

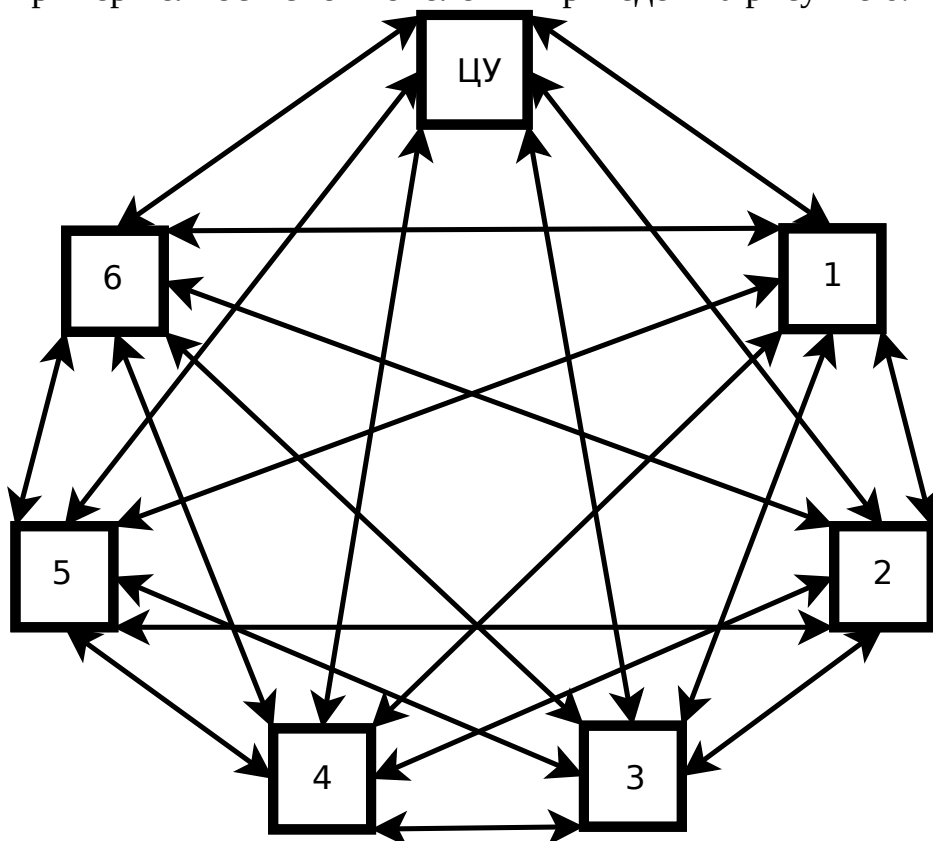


Рис. 6. Пример полносвязной топологии.

В полносвязной топологии все узлы подключены друг к другу попарно. Такая система достаточно громоздкая и малоэффективная. Требуется выделить отдельную линию для каждой пары узлов. Используется такая топология только в сложных системах и с небольшим количеством узлов (серверов, маршрутизаторов). Обычно такой топологией пользуются для построения ядра сети когда число маршрутизаторов в ядре до 4-х.

Ячеистая топология представляет собой, по сути, урезанный вариант полносвязной. Здесь также все узлы присоединены друг к другу отдельными линиями. Благодаря множественности путей между узлами сети с ячеистой топологией, потоки информации могут быть направлены в обход отказавших или занятых узлов. Несмотря на то, что топология сети характеризуется сложностью и высокой стоимостью, некоторые операторы предпочитают ячеистые сети сетям других типов вследствие их высокой надежности. Это особенно важен для современных магистральных мультисервисных сетей, агрегирующих и транспортирующих потоки мультимедийной информации.

Топология «Снежинка».

Пример топологии «Снежинка» приведен на рисунке 7.

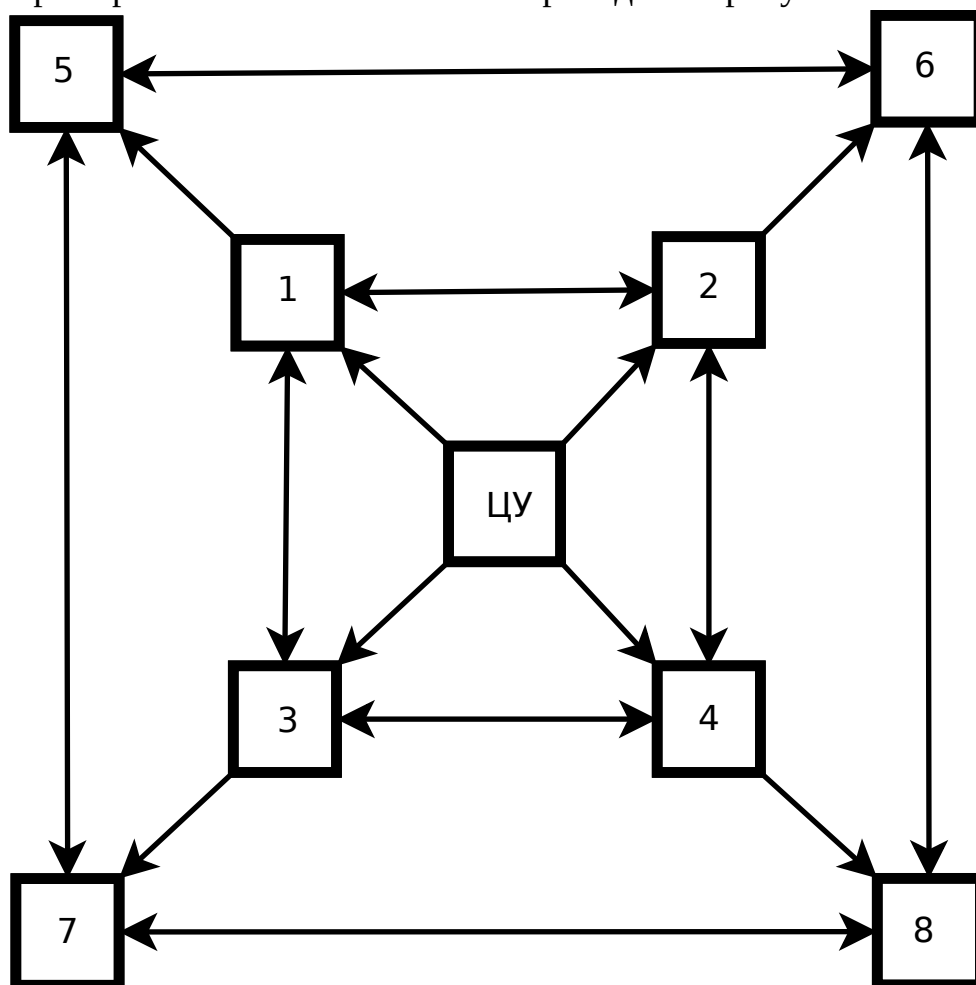


Рис. 7. Пример топологии «Снежинка».

Топология «Снежинка» - другое название — радиально-петлевая топология.

Одна из перспективных и эффективных топологий направленных на повышение показателей живучести и надежности сети путем использования дополнительной связности между узлами. Применение дополнительных связей всегда оптимизируют между нагрузкой на сеть и появлением резервных маршрутов для трафика.

Подводя итог рассмотрения топологий можно сказать, что универсальных рецептов нет, необходимо исходить из возможностей оператора, назначения сети и конечно же объема и характеристик трафика.

Классификация сетей доступа по методам разделения среды.

Существует несколько способов совместной работы нескольких терминалов, использующих общую среду передачи (разделение среды передачи):

- *Статическое мультиплексирование* (разделение ресурса)
  - по частоте (FDM),
  - по времени (TDM),
  - кодовое CDMA (Code Division Multiple Access),
  - по длине волны (WDM, Wavelength-Division Multiplexing);
- *Динамическое (статистическое) мультиплексирование* (концентрация)
  - случайный доступ ALOHA (CSMA/CD),
  - метод запросов,
  - метод приоритетов.

Методы доступа, применяемые в сетях.

Основной проблемой при построении любых сетей является выбор правил, которые регламентируют порядок передачи информации в общей среде. Сложность проблемы заключается в том, что отдельные узлы (станции или устройства) должны осуществлять передачу таким образом, чтобы не мешать друг другу, поскольку при одновременной передаче сигналов от двух и большего числа станций происходит наложение и взаимное искажение сигналов, происходит так называемый конфликт. При этом местные, как и локальные сети стремятся строить таким образом, чтобы на сети не было какого-либо координирующего центра (диспетчера) и все узлы (станции) могли работать автономно. Для решения этой задачи разработан ряд методов регламентации передачи, или методов множественного доступа.

Все методы доступа, применяемые для сетей, можно подразделить на две категории: методы, базирующиеся на централизованном управлении сетью, и распределенные методы доступа.

Для практического применения в условиях обеспечения высокой надежности наибольший интерес предоставляют распределенные методы доступа, в которых центральный управляющий орган отсутствует и все станции сети функционируют автономно. При таких методах доступа сеть более надежна, поскольку в ней отсутствует критический пункт - центральная станция, отказ которой выводит из строя всю систему. Распределенные методы доступа для местных или локальных сетей с топологией разного типа можно подразделить на четыре основные категории.

1. Случайные методы доступа, когда момент выхода на среду передачи определяется с использованием механизма случайного выбора. Впервые этот метод

был предложен в системе ALOHA, в которой узел начинал передачу своего пакета в момент его появления независимо от наличия передачи в канале связи от других узлов. Такой режим может приводить к конфликтам, когда два или большее число узлов осуществляют одновременную передачу и тем самым взаимно искажают передаваемые пакеты. Искаженные в процессе конфликта пакеты повторно передаются через случайно выбранный интервал времени и могут попадать в повторные конфликты.

Исследование эффективности использования пропускной способности среды передачи показало, что максимальный коэффициент использования (отношение максимальной скорости передачи к пропускной способности) не превышает 0,184. При увеличении нагрузки вероятность конфликта возрастает и время задержки до успешной передачи увеличивается.

Для уменьшения вероятности появления конфликта использования пропускной способности был разработан ряд модификаций этого метода. Случайный множественный доступ с контролем несущей (CSMA), случайный множественный доступ с контролем несущей и обнаружением конфликтов (CSMA/CD), используемый в одной из первых локальных сетей Ethernet.

Отличие метода CSMA от ALOHA состоит в том, что в нем каждый узел контролирует наличие передачи в среде от других узлов и в момент поступления пакета в узел: передача начинается лишь в том случае, если в данный момент среда свободна. Если в момент передачи возник конфликт, делается попытка его разрешения, например задержка передачи на случайный интервал времени. Новая попытка может привести к успешной передаче или повторению конфликта. Известны и более сложные процедуры разрешения конфликта, обеспечивающие увеличение пропускной способности сети.

Метод CSMA/CD отличается от CSMA тем, что узел, осуществляющий передачу, контролирует возникновение конфликта в процессе передачи, и если он обнаруживает появление конфликта, передача прекращается и реализуется та или иная процедура попытки выхода из конфликтной ситуации.

Эффективность использования среды передачи в таких системах существенно зависит от интервала времени между началом передачи пакета и тем моментом, когда все узлы узнают о занятии среды.

Достоинством случайных методов доступа является простота реализации и низкое время задержки при малых нагрузках на сеть. Однако они обладают и серьезными недостатками, в числе которых можно указать отсутствие гарантированного верхнего предела времени задержки до успешной передачи пакета, что исключает возможность применения этого метода в системах,

требующих передачи в реальном масштабе времени с заданными предельными задержками; нестабильную работу при увеличении входной нагрузки, при которой частота успешной передачи пакетов снижается, а задержка резко увеличивается; резкое снижение эффективности использования среды передачи.

Несмотря на это, метод CSMA/CD получил достаточно широкое распространение и предусматривается в числе международных стандартов.

2. Маркерные методы доступа, при которых право на занятие среды передается от узла к узлу в определенной последовательности (по логическому кольцу) или по приоритетам в форме специальных сообщений (маркеров).

Узел, получивший маркер, может осуществлять передачу в течении определенного времени, после чего обязан передать маркер следующему узлу. Достоинствами этого метода являются гарантированное предельное время задержки передачи пакета и отсутствие нестабильного режима передачи, характерного для случайных методов доступа. Недостаток - сложность реализации процедур инициализации логического кольца, включения - исключения узлов из логического кольца, процедуры восстановления работы сети после отказов или при потере маркера, и т.д. кроме того, сама передача маркера требует передачи определенного объема служебной информации, что приводит к снижению эффективности использования среды передачи.

3. Интервальные методы доступа характеризуются использованием в процедуре доступа временных интервалов, связанных с моментом освобождения среды после передачи пакета. Узел имеет право на передачу, если он наблюдает свободную среду после передачи пакета каким-либо узлом в течение определенного интервала времени, который зависит от конкурентной процедуры доступа.

Интервальные методы доступа в зависимости от способа расположения узлов на среде передачи можно подразделить на две категории: для сетей с упорядоченным и с произвольным расположением. При упорядоченном расположении узлов последовательность передачи права на занятие среды совпадает с последовательностью размещения узлов на среде передачи. Для сетей с произвольным расположением последовательность подключения узлов на сети не связана с последовательностью передачи права на занятие среды.

Методы доступа подразделяются также по виду информации, которая используется в процессе принятия решения о возможности передачи с данного узла. В простейшем случае в процедуре доступа используется только информация о времени освобождения среды передачи в данном узле, номере данного узла и максимальном времени распространения сигнала между наиболее удаленными узлами сети. В более сложных процедурах может использоваться также информация

о номере узла, который последним вел передачу, о времени распространения между парами узлов и о других параметрах.

4. Интервально-маркерные методы доступа, при которых право на занятие среды определяется временными интервалами после передачи пакета или специального маркера. Если сеть достаточно загружена, то в ней идет непрерывная передача пакетов с интервалами, определяемыми процедурой доступа. Если же в сети пакетов нет, осуществляется передача синхромаркеров, которые служат опорными временными метками для отсчета временных интервалов, определяющих право занятия среды передачи узлами сети при появлении у них пакетов.

Еще одной характеристикой, по которой могут различаться методы доступа, является порядок передачи между узлами права на занятие среды, то есть порядок передачи управления, или режим приоритетов. По этому критерию можно выделить следующие возможные режимы:

- последовательный циклический доступ, при котором все узлы в определенной последовательности получают право на передачу пакетов. Ни один из узлов не обладает какими-либо преимуществами по сравнению с другими узлами. При таком методе передачи управления для каждого узла гарантировано конечное предельное время задержки пакета, не зависящее от активности других узлов;

- приоритетный циклический доступ, при котором управление последовательно передается между всеми узлами сети, однако узел, ведущий передачу, обладает приоритетом по отношению к другим узлам - он может продолжать передачу до тех пор, пока у него имеются пакеты. В этом случае возможен захват среды отдельными узлами и вследствие этого предельное время задержки не гарантировано;

- частично-приоритетный циклический доступ, при котором узел, ведущий передачу, обладает приоритетом лишь над частью узлов, например над узлами с меньшими номерами, если узлы с большими номерами не имеют пакетов для передачи. Если все узлы имеют пакеты, то этот метод доступа обеспечивает последовательный обход всех узлов. Предельное время задержки для всех узлов сети в этом случае не гарантируется;

- приоритетный доступ, при котором после передачи любым узлом управление переходит к узлу с наибольшим приоритетом, если этот узел не имеет пакетов, - к узлу следующего приоритета и т.д. Предельное время задержки в этом случае гарантируется лишь для узлов с наибольшим приоритетом; доступ с приоритетным распределением пропускной способности, при котором в условиях, когда все узлы имеют пакеты для передачи, пропускная способность среды распределяется пропорционально заданным приоритетам. Предельное время задержки при этом методе гарантируется всем узлам.

## Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»  
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович

Тема: **Состав и организация узла доступа на сети оператора связи.**

### Учебные вопросы:

1. Состав и устройство узла доступа как производственной системы.
2. Обязательные элементы, их разновидности и составные части узла доступа. Оборудование доступа абонентов.
3. Оптимизация сети доступа, организация абонентских выносов.
4. Уплотнение абонентских линий.

### Литература:

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2012. – 943 с.

### **1. Состав и устройство узла доступа как производственной системы.**

Для понимания и рассмотрения узла связи как производственной системы дадим некоторые технологические понятия в рамках общей концепции развития и построения сетей NGN.

Узел коммутации — объект связи, содержащий в своем составе совокупность оборудования связи, реализующего функции технологического уровня управления вызовами и услугами, предназначенное для установления, поддержания и разрыва вызовов (сессий).

Примеры оборудования - MGC, CSC, Proxy Server.

Узел передачи - объект связи, содержащий в своем составе совокупность оборудования связи, реализующего функции технологического транспортного уровня, предназначенное для организации физической транспортной сети связи.

Примеры оборудования - DWDM, SDH.

Узел маршрутизации - объект связи, содержащий в своем составе совокупность оборудования связи, реализующего функции технологического транспортного уровня, предназначенное для маршрутизации трафика.

Пример оборудования — маршрутизатор, коммутатор.

Узел доступа - объект связи, содержащий в своем составе совокупность оборудования связи, реализующего функции технологического уровня доступа, предназначенное для подключения абонентов услуг телефонной связи и услуг ШПД по проводным абонентским линиям и/или для подключения абонентов оптической сети PON и/или для подключения абонентов гибридной сети НТТВ. Может быть установлен в здании АТС, приспособленном помещении или в автономном контейнере.

Примеры оборудования - AG, MSAN, DSLAM, PON, FTTB.

Узел сети - объект связи, содержащий в своем составе совокупность узлов коммутации, передачи, маршрутизации и доступа, установленных в одном здании или автономном контейнере.

Технологический уровень - уровень в условном разделении сети связи на части согласно своему функциональному назначению. Различают уровни управления вызовами и услугами, транспорта, доступа.

Межрегиональная транспортная сеть связи - транспортная сеть связи на базе технологии IP/MPLS, SDH, DWDM на территории РФ, обслуживаемой оператором связи, узлы которой располагаются в областных центрах субъектов федерации, входящих в зону обслуживания оператора.

Областная транспортная сеть связи - транспортная сеть связи на базе технологии IP/MPLS, SDH, DWDM на территории одного субъекта федерации, узлы которой располагаются в крупных населенных пунктах.

Местная транспортная сеть связи - транспортная сеть связи на базе технологии MetroEthernet, SDH, CWDM на территории областного центра, города, районного центра, или района.

Точка присоединения - оборудование сети связи, оснащенное физическим интерфейсом и сигнализацией (или протоколом, допускающим тарификацию, пригодную к меж операторским расчетам) и предназначенное для подключения сетей связи других операторов, сеть которых реализованных на базе технологий NGN.

Для унификации производственных процессов и сетевых решений разделение сетей, уровней управления и услуг, технологических уровней представлено на рисунке 1. Технологические уровни определяются исходя из перечней применяемого оборудования и технологических операций.

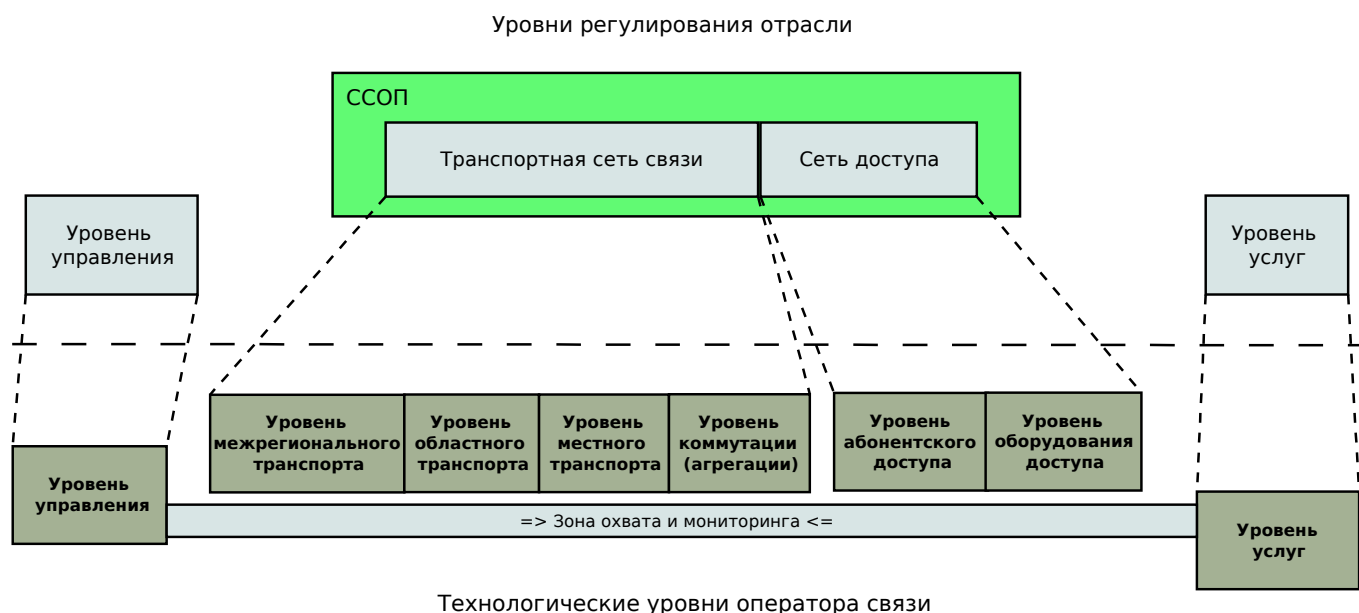


Рис. 1. Взаимосвязь ССОП и технологических уровней.

Рассматривая структуру сети связи общего пользования (ССОП) можно выделить сети двух уровней:

- ➔ сети доступа, обеспечивающие подключение абонентов к операторской сети связи и доступ к услугам связи и приложениям. Для этого уровня характерно обслуживание абонентских линий и урегулирование отношения с абонентами;
- ➔ транспортные сети, обеспечивающие передачу информации через сеть связи и управление этой передачей. Для этого уровня характерна эксплуатация коммутационного и маршрутирующего оборудования и линий связи транспортного уровня, а также отношения оператора связи с операторами взаимодействующих сетей связи, поставщиками услуг и контента.



Учитывая технологические уровни, которые возможны к применению на узле абонентского доступа рассмотрим некоторый универсальный узел доступа на сети.

В состав такого узла доступа в обязательном порядке должны входить следующие типы оборудования:

- оборудование присоединения абонентов;
- оборудование электропитания;
- кроссовое оборудование;
- оборудование сопряжения с транспортной сетью.

Обобщенная схема универсального узла абонентского доступа общей монтированной емкостью  $M$ -номеров, образованной в том числе  $N$  — абонентскими портами и  $V=(M-N)$  — абонентской емкостью групповых выносов абонентских портов (абонентских выносов) представлена на рисунке 2.

В зависимости от своего назначения узел доступа (УД) может выполнять и дополнительные функции, например функции узла передачи не только местной транспортной сети, что подразумевается автоматически практически для любого УД, но и узла областной или межрегиональной сети, что часто встречается, если узел расположен на участке этой сети. Соответственно от назначения узла и полного состава оборудования объекта связи зависят и технические требования к нему.

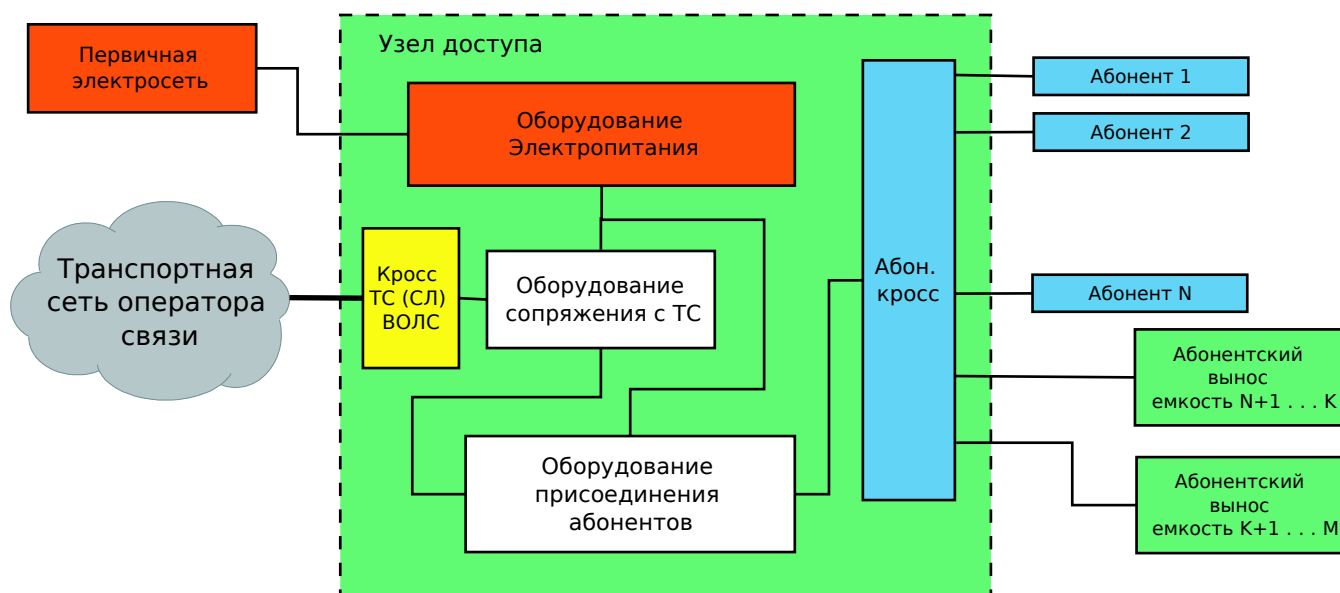


Рис. 2. Обобщенная схема универсального узла доступа.

## 2. Обязательные элементы, их разновидности и составные части узла доступа. Оборудование доступа абонентов.

### Оборудование электропитания.

Основой надежной работы узла доступа является правильно рассчитанное и настроенное оборудование электропитания узла. От 60% до 90% аварийных ситуаций на узлах доступа связаны именно с работой этого оборудования. А вот произойдет или не произойдет остановка узла доступа, а значит и прекращение предоставления услуг как раз и зависит от правильности монтажа и настройки оборудования. Если внимательно посмотреть на схему узла доступа, то видно, что электропитание узла условно разбивается на две части — электропитание по первичной сети (переменному току) и электропитание по вторичной сети

(постоянному току). Для подключения узла доступа к первичной сети энергоснабжения используется одно или трехфазная схема подключения с заземленной нетральной и защитным заземляющим проводником.

Узлы доступа в части обеспечения надежности электроснабжения относятся к электроприемникам I и II категории надежности с выделением в I категории надежности электроприемников особой группы.

К электроприемникам I категории надежности относятся узлы связи местной сети с количеством портов от 1024 до 10000, за исключением транзитных и оконечно-транзитных узлов связи, которые соединяются с узлами обслуживания вызовов экстренных оперативных служб.

К электроприемникам особой группы I категории надежности относятся узлы междугородной и международной сети связи, сети зонной связи, узлы местной сети связи с количеством портов более 10000, а также транзитные и оконечно-транзитные узлы сети местной связи, которые соединяются с узлами обслуживания вызовов экстренных оперативных служб.

К электроприемникам II категории надежности относятся узлы местной сети связи с количеством портов до 1024.

Электроснабжение электроприемников I категории надежности в нормальном режиме осуществляется от двух независимых взаимно резервирующих источников электропитания от электрических сетей энергосистемы с применением устройств автоматического ввода резерва.

Для электроснабжения электроприемников особой группы I категории надежности используется дополнительный третий независимый источник электропитания. В качестве третьего независимого источника электропитания для электроприемников особой группы I категории надежности используются автоматизированные дизель-электрические станции (АДЭС).

Для обеспечения бесперебойности электроснабжения электроприемников I категории надежности, включая электроприемники особой группы I категории надежности, при нарушении электроснабжения на время переключения с одного источника электропитания на другой используются АКБ с емкостью, обеспечивающей электроснабжение с расчетным временем разряда в час наибольшей нагрузки не менее 2 часов для электроприемников особой группы I категории надежности и не менее 8 часов для электроприемников I категории надежности.

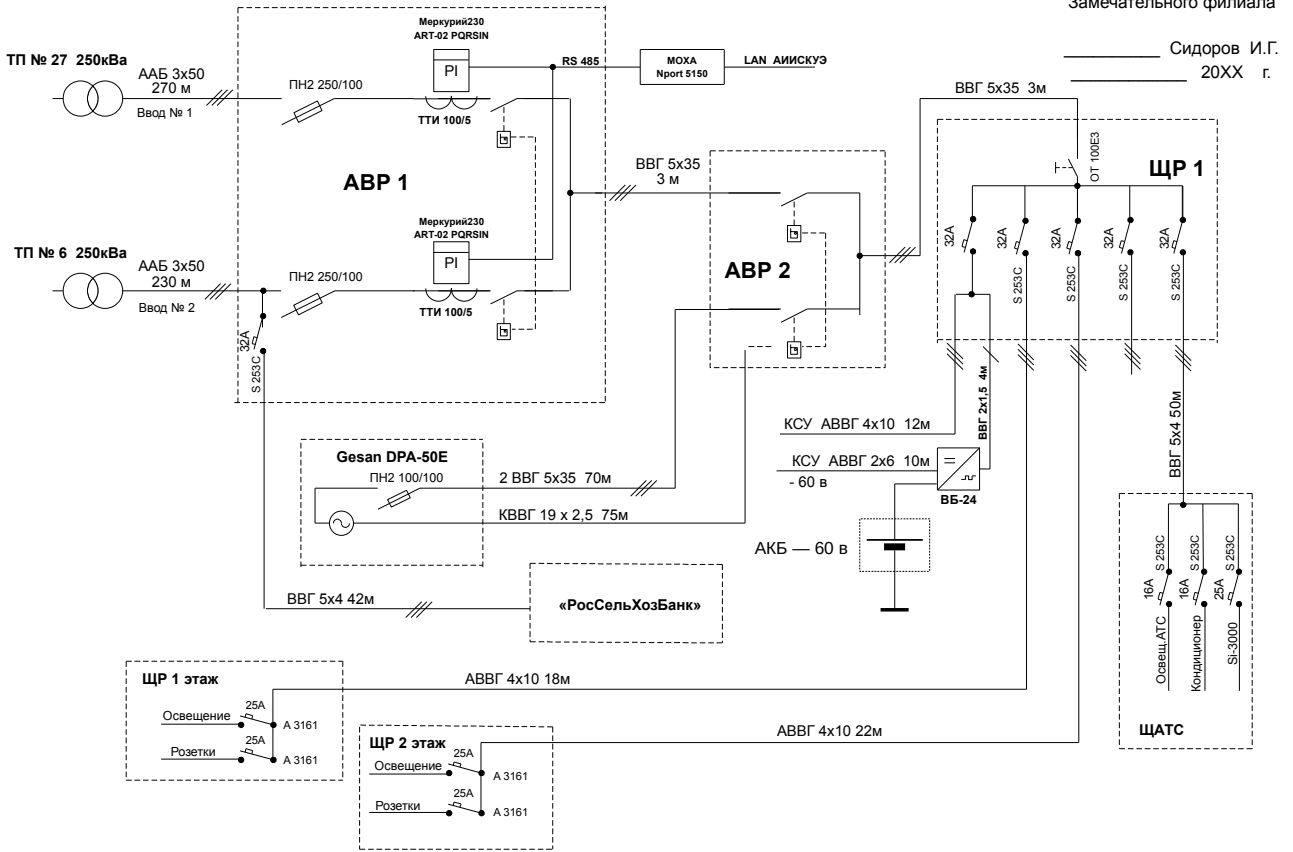
Электроснабжение электроприемников II категории надежности в нормальном режиме осуществляется от двух независимых взаимно резервирующих источников электропитания. В качестве одного из независимых источников электропитания электроприемников II категории надежности допускается использование дизель-электрической станции.

Для обеспечения надежности электроснабжения электроприемников II категории надежности используются АКБ с емкостью, обеспечивающей электроснабжение с расчетным временем разряда в час наибольшей нагрузки не менее 24 часов.

Учитывая требования к электропитанию рассмотрим схемы электропитания узла доступа по первичной и вторичной электросети приведенные на рисунках 3 и 4.

Схема электропитания УД ЦАТС г.Хорошево.

Главный энергетик  
Замечательного филиала



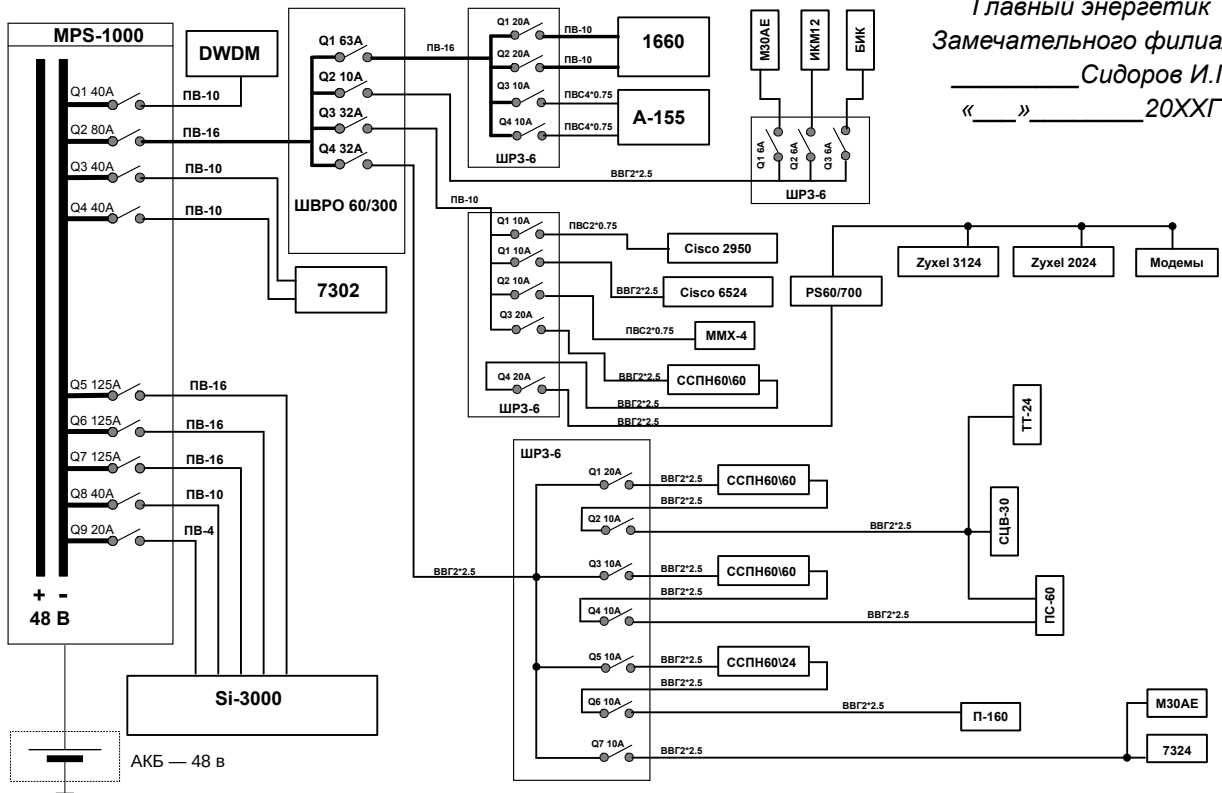
Сидоров И.Г.  
20XX г.

Ответственный за электрохозяйство  
инженер \_\_\_\_\_ Машин И.Н.

Рис. 3. Схема электропитания по первичной сети.

Схема электропитания по постоянному току УД ЦАТС г. Хорошево

Утверждаю  
Главный энергетик  
Замечательного филиала



« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20XXГ

Ответственный за электрохозяйство \_\_\_\_\_ Машин И.Н.

Рис. 4. Схема электропитания по вторичной сети.

Выпрямительные устройства модульного типа часто применяемые на сетях электросвязи для систем электропитания 48/60В:

- УЭПС-2;
- СУЭП-2;
- УЭПС-5,5К;
- Eltek.

Расчет общей мощности выпрямительной системы выполняется следующим образом: к пиковой нагрузке (сумма максимально возможных токов, потребляемых всеми типами оборудования узла) необходимо прибавить установленное значение тока заряда АКБ (обычно 0.1 от емкости АКБ в А/ч) плюс заданный резерв мощности, минимально равный мощности одного выпрямителя, чтобы в случае выхода из строя одного выпрямителя система продолжала работать.

Для каждого выпрямителя системы необходимо выполнить настройку параметров электропитания по постоянному току для данного объекта:

- опорное напряжение АКБ;
- номинальное напряжение выпрямителя;
- напряжение подзаряда АКБ;
- напряжение отключения АКБ;
- ограничение тока заряда АКБ (рекомендуется 10% емкости);
- температурную компенсацию (если есть возможность включения).

Опорное напряжение АКБ должно быть в пределах 2,23-2,30 на одну банку АКБ. Номинальное напряжение и количество ячеек АКБ — умножить кол-во установленных элементов батарей на 2В/6В/12В в зависимости от типа батареи.

При первоначальной настройке выпрямителя необходимо обязательно проверить:

- номинальное напряжение системы электропитания, так как для системы 48/60В неправильная установка может привести к выходу из строя оборудования;
- проверить правильность выбора полярности;
- проверить уровни системного напряжения:
- опорное напряжение (опорное напряжение ячейки АКБ\*кол-во ячеек АКБ – для системы 48В: 53,5-55В; для системы 60В: 66,9-68,7В);
- напряжение ускоренного подзаряда (2,35-2,4 В/яч; для системы 48В: 55-57,6В; для системы 60В: 70-72В);
- конечное напряжение для теста АКБ (рекомендуется 1,9В/яч; для системы 48В: 45,6В, для системы 60В: 57В);
- напряжение на выходе без управления контроллером (выпрямитель может работать и без контроллера, выдавая это напряжение);
- напряжение отключения АКБ (минимальное напряжение ячейки АКБ 1,75-1,8В, необходимо сравнить с данными написанными на батарее; для системы 48В: 42-43,2В, для системы 60В: 52,5-54В);
- напряжение включения АКБ (порог минимального напряжения выпрямителей перед отключением (смотреть технические характеристики выпрямителей); для системы 48В: 46В; для системы 60В: 59В).
- проверить ограничение тока заряда АКБ (рекомендуется током 10-30% емкости до  $U = 2,33-2,4В$ );
- проверить установленную температурную компенсацию (из паспорта АКБ, в основном 3-5 мВ/С/яч).

На узлах доступа применяются следующие типы АКБ:

- закрытые (герметизированные) аккумуляторные батареи (OPzV-гелиевые аккумуляторы, AGM-со связанным электролитом-обычно пропитанная кислотой стеклоткань и др.) допускается использовать в случаях при наличии естественной вентиляции;
- открытые (классические) аккумуляторные батареи типа OPzS с жидким электролитом обязательно применять при наличии на объекте связи отдельного приспособленного помещения с принудительной вентиляцией.

Применять не менее 2-х групп АКБ со временем разряда в час наибольшей нагрузки не менее 2,5 часов от одной группы.

Для дальнейшего рассмотрения вопроса о составе УД возьмем для примера паспорт конкретного узла (названия измененны).

## П А С П О Р Т

### На центральный узел доступа г. Хорошево Хорошевского района

#### 1. ГРАЖДАНСКИЕ СООРУЖЕНИЯ

№	Характеристика	Техздание	Дизельная
1	Год постройки	1989	1961
2	Материал стен	кирпич	кирпич
3	Кровля	металл.	шифер
4	Перекрытия	железобетон	железобетон
5	Сколько этажей	два	один
6	Система отопления	водяное	электрическое
7	Наличие водопровода	есть	нет
8	Наличие канализации	есть	нет
9	Наличие вентиляции	есть	есть
10	Допустимая нагрузка на м <sup>2</sup> площади по службам		
11	Кубатура, м <sup>2</sup>	Автосал- 37,1 Кросс- 32,5 Оборудование арендаторов – 13,9 Шахта- 25,3 КСУ- 12,6 Дизельная- 27,1	27,1
12	Построено по проекту института		
13	Год выпуска проекта		
14	Инвентарный номер		

## 2. ВВОДНЫЕ МАГИСТРАЛЬНЫЕ, ВНУТРИЗОНОВЫЕ И СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ КАБЕЛИ

Наименование направлений	Марка кабеля и диаметр жил	Длина кабеля м	Число пар	
			задействованных	резерв
1	2	3	4	5
АТС-шахта	ТСВ 103х2х0,4	70,0	4300	200
Шахта – РШ-201 ГР.11, ГР.12	ТГ 200х2х0,5	650	200	
ШАХТА- КОЛОДЕЦ №517	ТГ 600х2х0,4	548	600	
Колодец №517- РШ-205 ГР.18	ТГ 100х2х0,4	130	100	
колодец №517 – РШ-206 гр.17, гр.15, гр.16	ТГ 500х2х0,4	791	500	
Колодец №583А-РШ-207 Гр.13, ГР.14	ТПП 200х2х0,4	1503	200	
Шахта-колодец №546	ТГ 600х2х0,4	836,5	600	
Колодец №546- РШ-202 ГР.22, ГР.23, ГР.24	ТГ 300х2х0,4	940,0	300	
Колодец №546-РШ-203 ГР.19, ГР.20, ГР.21	ТГ 300х2х0,4	345,5	300	
Шахта-РШ-202 ГР.25	ТПП 100х2х0,4	795	100	
Шахта-колодец №583А	ТППэн3 200х2х0,4	1342	200	
Колодец №583А-РШ-206 ГР.27	ТППэн3 100х2х0,4	2,2	100	
Колодец №583А-РШ-207 ГР.26	ТППэн3 100х2х0,4	1504	100	
Шахта-РШ-204 ГР.28	ТГ 100х2х0,5	1178	100	
Шахта-РШ-204 ГР.29, ГР.30	ТГ 200х2х0,5	1178	200	
Шахта-РШ-209 ГР.31	ТППэн3 100х2х0,4	377	100	
Шахта-РШ-209 ГР.32	ТГ 100х2х0,4	377	100	
Шахта-РШ-209 ГР.33	ТППэн3 100х2х0,4	377	100	
Шахта-РШ-209 ГР.34	ТППэн3 100х2х0,4	377	100	
Шахта-РШ-208 ГР.35	ТППэн3 100х2х0,4	712	100	
Шахта-колодец №534	ТПВ 100х2х0,5	460	100	
Колодец №534-РШ-201 ГР.36	ТПП 50х2х0,5	193	50	
Колодец №534-РШ-208 ГР.36	ТПП 50х2х0,5	251	50	
Шахта-РШ-208 ГР.37	ТППэн3 100х2х0,4	712	100	
Опт кросс – Муфта 7 (1-й Соседний р-н)	ОГД-1х4/5х4а-7Д	25300		
Муфта 8 (2-й Соседний р-н) - опт кросс.	ОГД-1х4/5х4а-7Д	30010		
Опт кросс - АТС пос. Ситинский	ОГД-2*4А-7Д	7140		
Опт кросс - АТС пос. ЛПК	ДПС 024	3119		
Опт кросс - РТПЦ	КСППг-1х4х1,2	0,25		
Опт кросс – ИНФС, Советская 7	ОГЦ – 8А-7Д	0,594		
Опт кросс – СБ РФ, пл. Октябрьская 5	ОПН-ДПС-0,4-008А 04-7,0	0,523		

### 3. ВВОДНО-КОММУТАЦИОННАЯ АППАРАТУРА

№	Наименование и тип аппаратуры	Заводской номер	Завод изготовитель	Год выпуска	Год ввода	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
1	Кросс DDF	18877	Krone	200x	20xx	P 1, см 1
2	Кросс DDF	31	Krone	200x	20xx	P 2, см 3
3	Оптический кросс KPC24 FC	BCCB03416463000	FOT	200x	20xx	P 1 см 1 м1
4	Оптический кросс KPC16/8 FC	BCCD03242642147	FOT	200x	20xx	P 1 см 1 м2
5	Оптический кросс KPC24 FC	BCCB03612257164	FOT	200x	20xx	P 1 см 1 м3
6	Оптический кросс KPC16/8 FC	BCCD04215232256	FOT	20xx	20xx	P 1 см 1 м4
7	Оптический кросс KPC24 FC	BCCF01263426285	FOT	20xx	20xx	P 1 см 1 м7

### 4. ОКОНЕЧНАЯ АППАРАТУРА

№	Наименование и тип аппаратуры	Заводской номер	Завод изготовитель	Год выпуска	Год ввода в эксл.	Примечание
	2	3	4	5	6	7
1	Alcatel 1660SM	3DB00734AAAE01	Alcatel		200x	P1, см 1, м5
2	A-155	8000716	NATEKS		200x	P1, см 1, м6
3	Si3000	Z08447826	Iskratel		200x	P2, см 2,
4	Cisco2950	000ED73A0800	Cisco		200x	P1, см 2, м3
5	Cisco2600	JHY0838K2CO	Cisco		200x	P1, см 2, м4
6	Alcatel 7302	CN0816MA15R	Alcatel		200x	P2, см 3,
7	Alcatel 7324	3FE28459	Alcatel		200x	P2, см 4, м2
8	Cisco 6524	SAL1415F6LP	Cisco		20xx	P1, см 2, м5
9	FOM-4	MRU100000963	NATEKS		20xx	P1, см 2, м2
10	DWDM	104-10006997	ИРЭ «ПОЛЮС»		20xx	P1, см 4, м1
11	CWDM	T8.1010.0004.0078	ИРЭ «ПОЛЮС»		20xx	P1, см 4, м2
12	MMX-4	288012972	NATEKS		20xx	P1, см 2, м1
13	ИКМ K016-05	078307000079	Ангстрем		20xx	P1, см 2, м3
14	M-30AE	08071158	Симос		20xx	P1, см 2, м2
15	M-30AE	10071252	Симос		20xx	P2, см 4, м1

## 5. ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ АППАРАТУРА

№	Наименование и тип аппаратуры	Заводской номер	Завод изготовитель	Год выпуска	Перемещение	Дата, обоснование
1	2	3	4	5	6	7
1	ПК-60	6658.001.020	ООО «КБ Связь»	2008		

## 6. ОБОРУДОВАНИЕ ТОНАЛЬНОГО ТЕЛЕГРАФА

№	Наименование и тип аппаратуры	Заводской номер	Завод изготовитель	Год выпуска	Год ввода в экпл.	Примечание
1	2	3	4	5	6	7
1	ТТ-24	127550988		1988	1988	

## 7. ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЕ

Название энергосистемы, от которой предприятие получает электроэнергию:

Областная сбытовая компания Договор №4000 от 28.12.20xx

Адрес энергосистемы и телефон: Пречистенская набережная, 68

1. Напряжение внешней сети: 0,4 кВ

2. Установленная мощность и кол-во силовых трансформаторов: нет

3. Напряжение и число фаз распределительной сети на предприятии: 380/3

4. Мощность собственной электростанции: 36 кВт

### Линии электропередачи

Название фидера	Протяженность	Марка кабеля или провода, сечение	Год ввода в экпл.	На чьем балансе находится и кто обслуживает	Примечание
1	2	3	4	5	6
ТП-27	219	АВБ6ШВ-1-4x50	2011	ОАО «Оператор»	2 кабеля
ТП-6	240	ААБ 3x50-1x25	1989	ОАО «Оператор»	1 кабель



## 8. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ

8.1. Тепловые агрегаты: нет

8.2. Трансформаторы: нет

8.3. Дизель-генераторы:

Наименование энергетического оборудования	Тип и завод изготовитель	Количество	Мощность	Дата капремонта	Примечание
1	2	3	4	5	6
<i>Дизельгенератор</i>	<i>Gesan DPA 50E</i>	<i>1</i>	<i>36кВт</i>	<i>2009</i>	

8.4. Моторы: нет

8.5. Насосы: нет

8.6. Щиты (вводные токораспределительные, автоматики, батарейные, осветительные)

Наименование энергетического оборудования	Тип и завод изготовитель	Количество	Мощность	Дата капремонта	Примечание
1	2	3	4	5	6
<i>АВР-1</i>	<i>«Спецэлектромонтаж»</i>	<i>1</i>		<i>2009</i>	
<i>АВР-2</i>	<i>Gesan</i>	<i>1</i>		<i>20xx</i>	
<i>ЩР-1</i>	<i>«Спецэлектромонтаж»</i>	<i>1</i>		<i>2009</i>	
<i>ЩР-2</i>	<i>«Спецэлектромонтаж»</i>	<i>1</i>		<i>2012</i>	
<i>ЩР-3</i>	<i>«Спецэлектромонтаж»</i>	<i>1</i>		<i>2011</i>	

8.7. Выпрямители (мощностью)

Наименование энергетического оборудования	Тип и завод изготовитель	Количество	Мощность	Дата капремонта	Примечание
1	2	3	4	5	6
<i>MPS1000.200</i>	<i>Iskratel</i>	<i>1</i>	<i>10.8кВт</i>	<i>200x</i>	

8.8. Аккумуляторы:

Наименование	Тип	Количество элементов	Емкость багарей	Дата ввода	Примечание
1	2	3	4	5	6
<i>Marathon</i>	<i>M12V-155FT</i>	<i>12</i>	<i>450</i>	<i>20xx</i>	

## 9. СТАНЦИОННЫЕ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

№	Назначение	Тип подводящего провода к заземлению	Длина	Сопротивление по паспорту	Конструкция заземления
1	2	3	4	5	6
1	<i>Рабоче-защитное</i>	<i>Сталь 40 х 4</i>	<i>18</i>	<i>2,10м</i>	<i>Уголок 50*50*5</i>

## 10. ПАСПОРТ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

На устройство заземления: ЦАТС Хорошево  
(наименование АТС)

1. Характер грунта: суглинок  
(глинистые, песчаные, суглинок, скальные и т.д.)
2. Тип электрода: угловая сталь 50х50
3. Размер и количество электродов: L-1600 мм – 10 шт.
5. Соединительный кабель: ПВ-1х50 мм желто-зеленый
6. Глубина заложения электрода: 2,5 м  
(длина и тип)
7. Соединение электродов: Сталь 4х40 мм  
(материал и размеры)

## ЭЛЕКТРОИЗМЕРЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ

1. Тип и № прибора: М-416 №18748
2. Состояние грунта: сухой  
(влажный, сухой, обработанный солью)
3. Сопротивление заземления: защитное 2,1 Ом изм. №1 – 18 Ом,  
изм. №2 – 21 Ом
4. Дата измерения: 29 июля 20xx года

Измеритель:

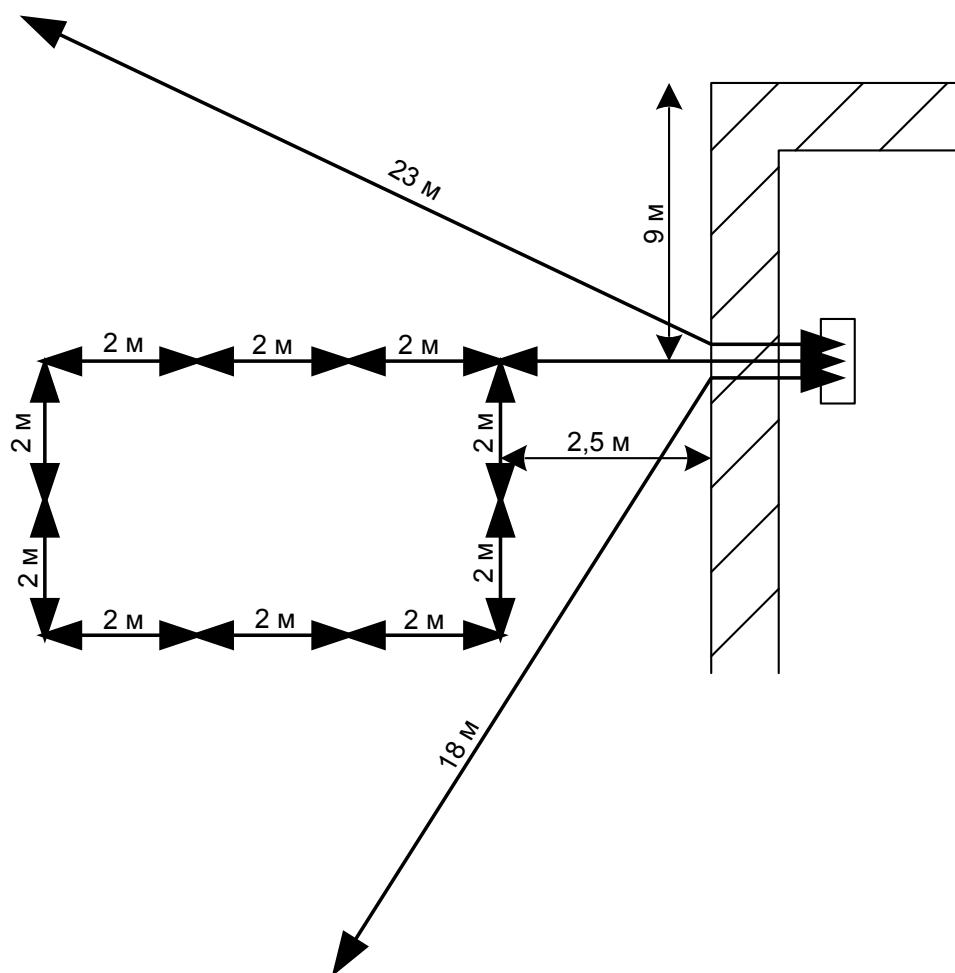
Подпись /Иванов А.Г.

Ответственный:

Подпись /Петров А.С.

« 29 » июля 20xxг.

# Схема внешнего контура заземления ЦУД г.Хорошево



ДАННЫЕ О ЗАЗЕМЛЯЮЩЕМ УСТРОЙСТВЕ:

УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ГРУНТА 64 Ом/м

ВЕЛИЧИНА СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗАЗЕМЛЕНИЯ ПРИ УСТРОЙСТВЕ 2,1 Ом

МАТЕРИАЛ ЭЛЕКТРОДОВ Угловая сталь 50x50

КОЛИЧЕСТВО ЭЛЕКТРОДОВ 10 шт

РАССТОЯНИЕ МЕЖДУ ЭЛЕКТРОДАМИ 2 м

ГЛУБИНА ЗАЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОДОВ 2,5 м

СЕЧЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ 40x4 мм

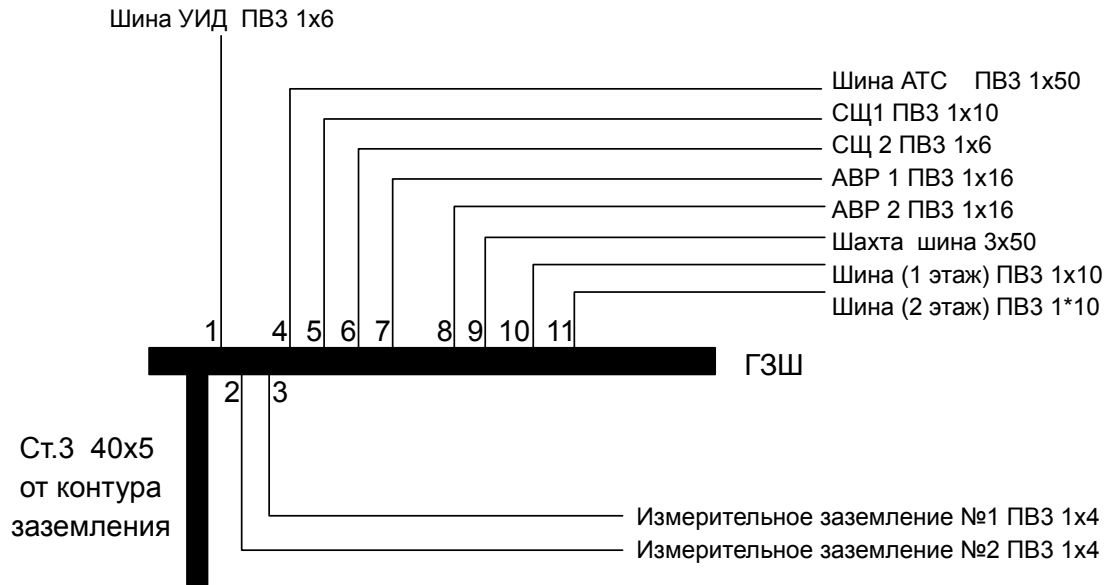
ДАТА ПРИЕМА В ЭКСПЛУАТАЦИЮ 1987 г.

«Утверждаю»  
Главный энергетик  
Замечательного филиала  
ОАО «Оператор»

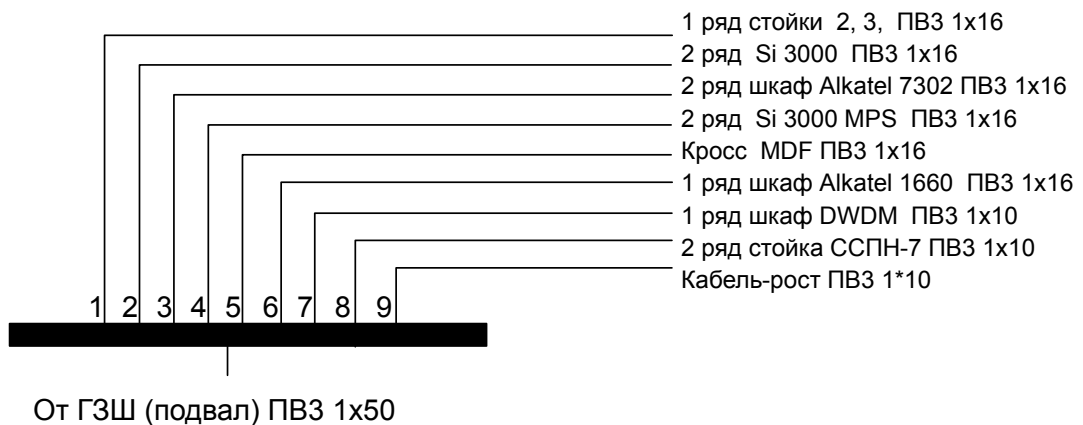
ПОДПИСЬ  
ОБЯЗАТЕЛЬНА \_\_\_\_\_ Сидоров И.Г.  
ДАТА  
ОБЯЗАТЕЛЬНА \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## Схема ГЗШ ЦАТС



## Схема шины заземления ЦАТС



Ответственный за электрохозяйство

ПОДПИСЬ  
ОБЯЗАТЕЛЬНА \_\_\_\_\_

Машин Ю.Н.

### Характеристика заземляющего устройства

№ п/п	Наименование заземляющего устройства	Конструкция заземляющего устройства (материалы, сечение, длина, количество, глубина заложения в грунт)		Поправочный коэффициент Кп
		Вертикальный заземлитель	Горизонтальный заземлитель	
1	2	3	4	5
1	Рабочее заземление	Угловая сталь 50x50x5 L=1,6м	Сталь 4 x 40мм	
2	Измерительное заземление № 1	Угловая сталь 50x50x5 L=1,6м	ПВЗx4мм <sup>2</sup>	
3	Измерительное заземление № 2	Угловая сталь 50x50x5 L=1,6м	ПВЗx4мм <sup>2</sup>	

Кп – поправочный коэффициент, характеризующий конструкцию заземляющего устройства и климатические условия.

### Результаты измерения

№ п/п	Наименование заземляющего устройства	Измеренное сопротивление заземляющего устройства R <sub>изм</sub> (Ом)	Поправочный коэффициент Кп	Расчётное сопротивление заземляющего устройства R <sub>р</sub> =Кп R <sub>изм</sub> (Ом)	Сопротивление заземляющего устройства по норме (Ом)	Заключение
1	Рабочее заземление	3,6			4	Норма
2	Измерительное заземление № 1	66			100	Норма
3	Измерительное заземление № 2	73			100	Норма

**Заключение:** Измеренные значения соответствуют ПУЭ и ПТЭЭП. Проведен визуальный осмотр видимой части заземляющего устройства. Состояние заземляющего устройства в норме.

Испытание произвели:

Руководитель группы:

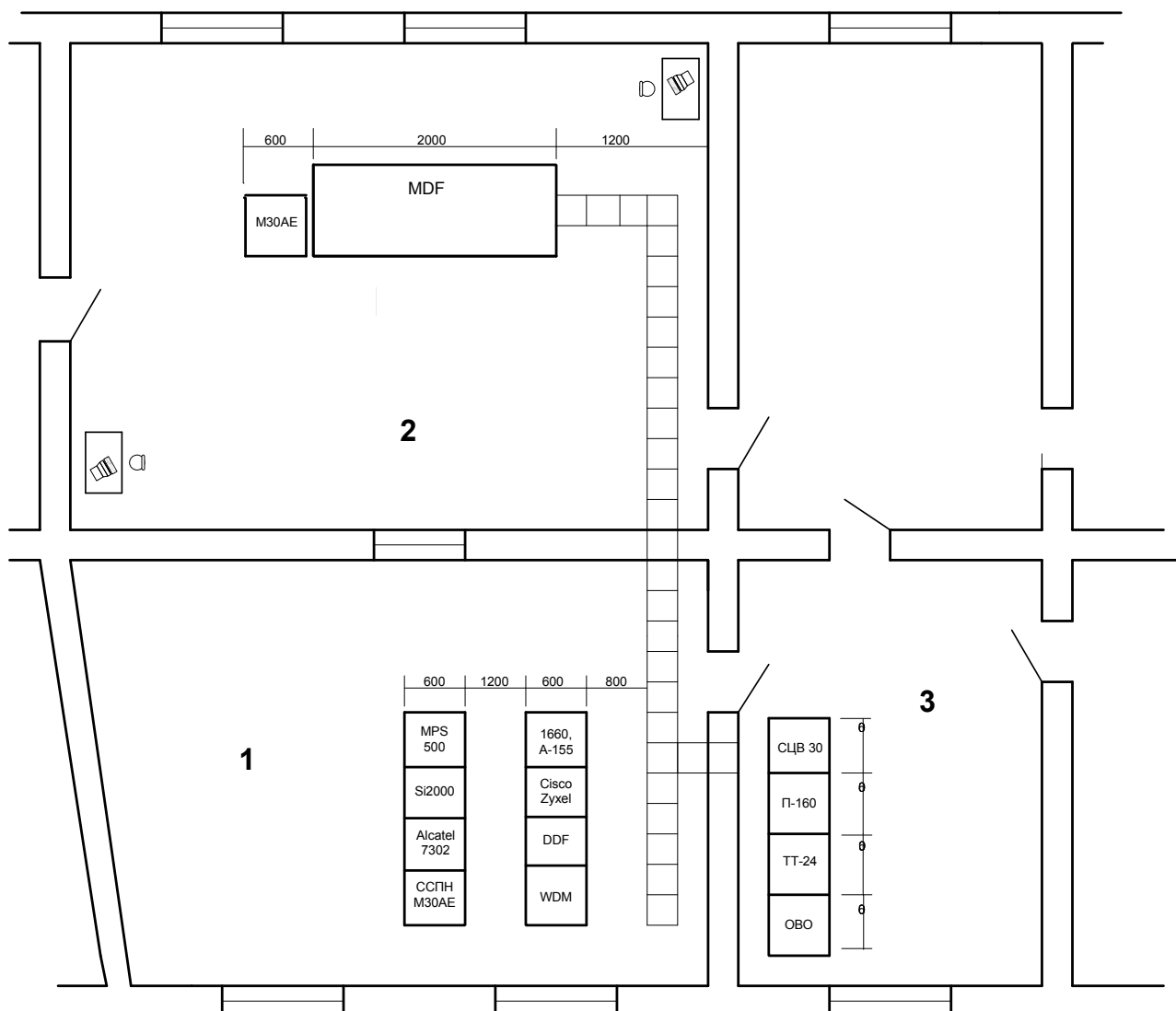
Подпись / Иванов А.Г.

Подпись / Машин Ю.Н.

« 14 » июля 20xx г.

Содержание согласно норм защитного заземления позволяет эффективно применять кроссовую защиту АЛ, как трехточечную — по напряжению, так и пятиточечную — по напряжению и по току.

## 11. ПЛАН РАЗМЕЩЕНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ (в цехах, в масштабе 1:100)



1 – помещение АТС

2 – помещение кросса

3 – помещение для размещения  
оборудования арендаторов

### Оборудование доступа абонентов.

Этот тип оборудования зависит прежде всего от услуг оператора связи к которым подключен абонент. Исходя из этого дадим общие характеристики типам абонентского оборудования.

Для телефонии, голосовых услуг VoIP и услуг IP-телефонии:

- для двухпроводных линий с аналоговой абонентской сигнализацией — аналоговые телефонные аппараты;
- для ISDN линий базового доступа — цифровые ISDN аппараты и видеофоны от одной и до трех линий со стыком по S-интерфейсу или U-интерфейсу или со встроенным NT-окончанием (обычно на одну ISDN BRI);
- для стыка Ethernet — IP-Phone;
- разнообразные софтфоны для PC и гаджетов под различные ОС.

Для доступа в Internet:

- маршрутизаторы и модемы, ONT — окончания, в зависимости от интерфейса подключения, со встроенными Wi-Fi роутерами, принтсерверами, устройствами Small-Office и Home-Office (SOHO) и т. д. Перечень рекомендованного оборудования обычно приводится на сайте оператора связи, у которого производится подключение к услуге. Если абонент подключен к нескольким услугам, то обычно ONT, модем или маршрутизатор на входе производит агрегацию услуг для этого абонента и выполняет маршрутизацию портов под услуги, например 1 порт — под IPTel, 2 порт — под Internet, 3 порт — под IPTV.

Для услуг IPTV и VoD:

- SetTopBox - устройство, принимающее сигнал цифрового телевидения в стандарте оператора и передающее его на экран телевизора, обычно включает в себя и функционал управления услугой за декларируемый оператором.

### **3. Оптимизация сети доступа, организация абонентских выносов.**

Вопрос оптимизации сети абонентского доступа рассматривается с двух независимых позиций или сторон:

- с позиции предоставления абонентам более качественных услуг;
- с позиции оптимизации и упрощения эксплуатации оборудования.

В одних случаях подход с этих двух позиций совпадает по интересам и полученным результатам, в других противоречит. Все зависит от применяемых технологий и решений.

Вначале рассмотрим второй подход, как наиболее близкий к интересам технического персонала оператора связи и направленный на оптимизацию сети.

Опять же рассмотрим вопрос на примере ЦУД одной муниципальной сети оператора.

На рисунке 5 приведена схема организации связи сети абонентского доступа для муниципального района. Вся сеть организована следующим образом:

- в административном центре муниципального района организован центральный узел доступа, с организацией подключения абонентов по медной кабельной проводной сети;
- услуги телефонии и нумерация абонентов на весь муниципальный район поднята на MSCN (Multi-Service Control Node) SI3000, которая присоединена в свою очередь к узлу зонной и междугородней связи в областном центре;
- в удаленных населенных пунктах района организованы абонентские выносы с присоединением абонентов по медной кабельной проводной сети;
- услуги Internet и IPTV агрегированы каждая в своем сервисном VLAN-е, приходят по СПД на DSLAM-ы УД и доставляются абоненту с выделением на абонентском ADSL-модеме-маршрутизаторе.

Организация ЦУД приведена на рисунке 6. Выносов на рисунке 7.

Обратите внимание местная транспортная сеть муниципального района организована на мультиплексах SDH A155 уровня STM-1 по кольцевой схеме резервирования связей типа «плоское кольцо», когда и прямая ветка запад-восток и обратная ветка восток-запад идут в одном оптоволоконном кабеле в разных волокнах.

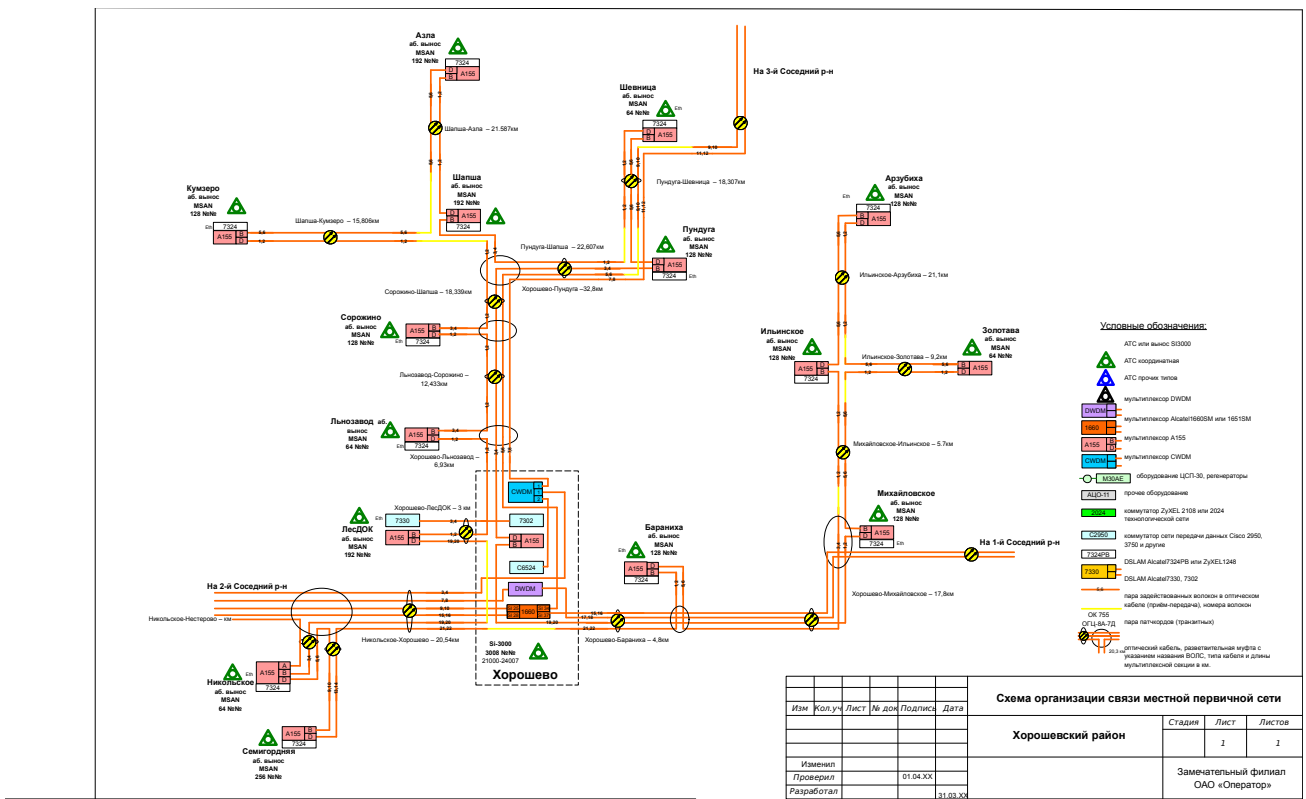


Рис. 5. Схема организации связи муниципального района.

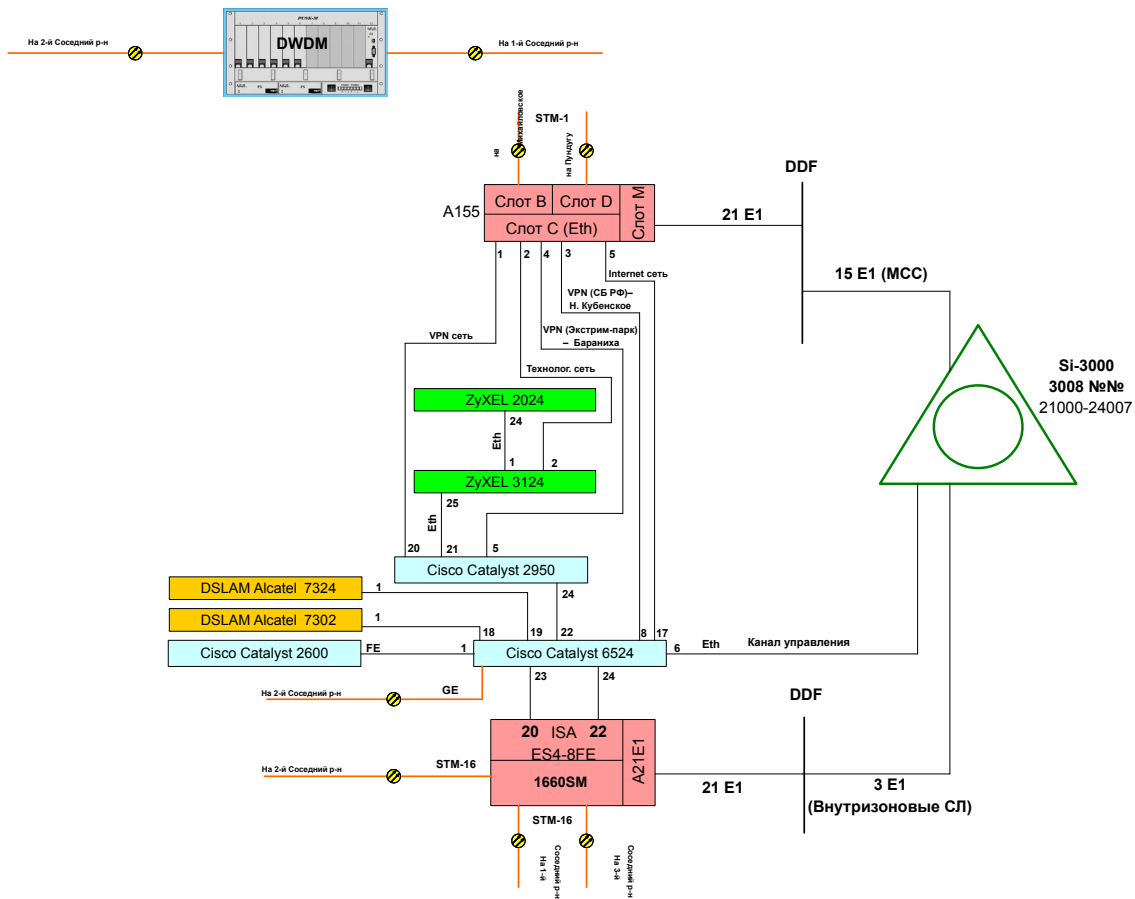


Рис. 6. Схема организации ЦУД Хорошево.



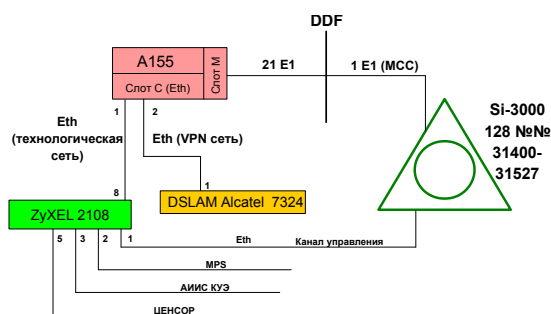


Рис. 7. Схема организации абонентского выноса н.п. Арзубиха Хорошевского муниципального района.

При построении сети доступа довольно часто встречается ситуация, при применении технологии ADSL, когда удаленные от УД микрорайоны жилой застройки при оказании только одной услуги телефонии не испытывали неудобств, но при подключении ADSL-модема, особенно с ростом числа абонентов на сетях скорость доступа падает в ЧНН и модем может терять связь и самопроизвольно перезагружаться. Это происходит из-за большой длины АЛ. Для ее уменьшения осуществляется вынос ADSL концентратора DSLAM ближе к абонентам путем организации абонентского выноса, так чтобы длина АЛ не превышала 1км и по возможности была еще короче. Оборудование DSLAM устанавливается в приспособленный рабочий объем — например в телекоммуникационный шкаф с необходимым оборудованием электропитания и климатки. Туда заводятся кабели от УД с поданной услугой телефонии и в шкафу на эти АЛ через сплиттеры подаются линейные окончания станционных ADSL модемов. Т.е. фактически организуется кабельный перехват. К DSLAM-у порт Ethernet от коммутатора подается через оптический удлинитель по ВОК.

Если рассматривать технологию абонентского доступа FTTB, то вся абонентская сеть строится на выносах оборудования, так как длина последнего дюйма UTP-кабеля для 100МБит/сек не превышает 100 метров.

#### **4. Уплотнение абонентских линий.**

На сетях АД нередко складывается ситуация, когда прокладка новой кабельной линии не возможно, радиодоступ организовать так же невозможно, например из-за отсутствия прямой видимости, но связь нужна и нужна срочно. В таких ситуациях операторов часто выручает оборудование уплотнения абонентских линий.

Если рассматривать вопрос об уплотнении линий, то начинать нужно со спаренных абонентов. Массовое распаривание началось 15-10 лет назад и думаю в РФ на сетях еще встречается. Принцип работы такого уплотнения линий основан на разнополярном подключении двух абонентов с выделением каждого диодной приставкой. Вызов такому абоненту от СВУ также приходил с учетом полярности импульсы + 25Гц одному и — 25Гц второму абоненту. При разговоре одного абонента второй вынужден был ожидать завершения соединения (когда абонент положит трубку).

Следующее широко применявшееся на сети уплотнение АВУ (аппаратура высокочастотного уплотнения) работало по принципу — один абонент работает на линии по НЧ в традиционном аналоговом интерфейсе, а второй на ВЧ. Преимущества такого уплотнения — абоненты могли одновременно совершать и принимать вызовы.

Следующий шаг в уплотнении АЛ ИКМ-6 и ИКМ-15.

Далее появилось достаточно много производителей, наиболее успешные и широко применяемые на сетях наше российское оборудование уплотнения от Ангстрем-телеком и Симос на разное количество каналов по одной линии. Все такое оборудование базируется на применении ИКМ (АДИКМ) с линейными модемами под структуры потока E1 - G.703, G.704.

Рассматривать подробнее этот вопрос не будем, так как с ростом пропускной способности абонентских подключений такое оборудование вообще не конкурирует с современными технологиями доступа (за исключением голосовых услуг - телефония, аудиоконференцсвязь или других узкополосных услуг — сигнализация, телеметрия, телеграфия, факсимильная связь, где пропускная способность оборудования позволяет успешно решать задачи по передаче трафика и сигналов).

## Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»  
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович  
Тема: **Организация услуг на сети доступа.**

### Учебные вопросы:

1. Понятие услуги в сетях доступа.
2. Разновидности услуг связи.
3. Понятие управления услугой.
4. Подключение к услуге. Подключение абонентов на сетях доступа. Абонентские устройства.

### Литература:

1. Гольдштейн Б.С., Елагин В.С., Сенченко Ю.Л., Протоколы AAA: RADIUS и Diameter. Серия «Телекоммуникационные протоколы». Книга 9 – СПб.: БХВ&Петербург, 2014. – 352 с.: ил.
2. C. Rigney, S. Willens, A. Rubens, W. Simpson, Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS), RFC 2865, June 2000.

### 1. Понятие услуги в сетях доступа.

Понятие «услуги в сети связи», «услуги связи» и все, что с этим связано трактуется по разному и определений существует множество, но начнем с закона.

Услуга связи - деятельность по приему, обработке, хранению, передаче, доставке сообщений электросвязи или почтовых отправлений. [Федеральный закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ (редакция от 28.07.2012) "О связи"]. Некоторые ГОСТы продолжают: Является составной частью продукта, предназначенной для продажи клиенту в составе продукта.

Примечание - Одна и та же услуга может входить во множество различных продуктов, предоставляемых по различной цене [ГОСТ Р 53633.8-2012].

*Услуга связи - это конечный полезный результат производственной деятельности операторов (организаций) связи по передаче информации от отправителя до получателя (например, состоявшиеся междугородные телефонные разговоры; переданные и дошедшие до адресата телеграммы или почтовые отправления).*

Используя эти и другие определения можно четко сформулировать тождество, что услуга доступа, доступ к услуге и доступ к сети связи — это одно и тоже понятие. Исходя из этого и продолжим.

Современные операторы связи и особенно их службы маркетинга формируют и продают очень широкий набор телекоммуникационных продуктов, включая доступ к различным типам сетей по разным технологиям.

Однако с технической точки зрения все эти продукты основаны на одних и тех же приемах организации услуг в сетях поэтому и рассматривать их будем соответственно.

Для традиционных услуг электросвязи оказываемых по специально выделенным под такие услуги сетям связи:

- ◆ телефонным;
- ◆ телеграфным;

◆ передача данных по выделенной линии и прочим, подключение и ограничение к услуге (доступ) производилось обычным способом электрического подключения/отключения к АЛ или сигнальной цепи на УД. Тарификация услуг велась встроенными в станцию средствами или не велась вовсе. Такие сети ушли в прошлое, и если где и остались, то объем такого рода услуг незначителен и нами более подробно рассматриваться не будет.

Если говорить о современных услугах электросвязи и перспективных услугах, базирующихся и организованных в сетях передачи данных, то любая услуга в любой сети после электрического или иного к ней подключения начинается с процедуры однозначной идентификации пользователя на основе уникальных данных, которые сравниваются с учетной записью в системе безопасности (аутентификация по логину-паролю, сертификату и т. д.), проверяются права на доступ к сети и в дальнейшем происходит сбор данных о потреблении доступных пользователю ресурсов.

Для этого существует архитектура и протоколы AAA (Authentication, Authorization, Accounting), которые позволяют реализовать этот функционал и уменьшают возможность несанкционированного доступа к сети, позволяя полноправным пользователям использовать доступные им ресурсы сети [1].

Рассмотрим аутентификацию как способ идентификации пользователя. Существуют два вида аутентификации:

1. Двусторонняя (локальная) аутентификация происходит между двумя устройствами сети напрямую, без использования других ресурсов. Вся информация, необходимая, для идентификации хранится на аутентифицирующей стороне. Такую модель сложно использовать на сетях с большим количеством узлов, т. к. будет большая избыточность и возникнет проблема синхронизации данных о пользователях сети.

2. При трехсторонней аутентификации (аутентификация на удаленном узле) все данные об аутентификации хранятся в едином пространстве (например, на AAA-сервере), и пользователь, для аутентификации в сети, передает необходимую информацию на сервер доступа (NAS - Network Access Server). Сервер доступа к сети, в свою очередь, передает эти данные серверу AAA, который выполняет проверку учетной записи пользователя и данные с результатом проверки отправляет обратно серверу доступа, который предоставляет или запрещает пользователю использовать ресурсы сети.

Процесс авторизации определяет, какие типы ресурсов или услуг, пользователю допускается использовать. Авторизация происходит после аутентификации: после проверки подлинности пользователя, ему присваиваются разные типы доступа или полномочия на совершение тех или иных действий в сети.

Следующий этап, в рамках AAA, это учет (accounting). В рамках этого этапа идет подсчет объема ресурсов, потребленных пользователем и/или времени сеанса в течении сессии. Учет осуществляется ведением статистики сессий и используется для управления авторизацией, биллинга и анализа использования ресурсов.

Самые известные протоколы, которые обеспечивают функционирование метода AAA это RADIUS, DIAMETER, TACACS+, TACACS и XTACACS.

Рассмотрим RADIUS (Remote Authentication Dial In User Service), как самый популярный и широкоиспользуемый сетевой протокол, который обеспечивает централизованный подход к аутентификации, авторизации и учету. RADIUS

разработан Livingston Enterprises, Inc в 1991 году в качестве протокола доступа к серверу аутентификации и учета, а позже был принят Инженерным советом Интернета (Internet Engineering Task Force, IETF). Текущие версии RFC 2865 и RFC 2866. Применяется для управления доступом к интернету, внутренней сети, беспроводным сетям или интегрированной электронной почте. Эти сети могут включать в себя модемы xDSL, беспроводные точки доступа, виртуальные сети (VPN), сетевые порты, веб-сервера и др.

RADIUS — протокол с клиент-серверной архитектурой, работает на прикладном уровне модели OSI, использует UDP в качестве транспортного протокола (1812 порт для аутентификации и 1813 для учета)[2]. Сервер доступа к сети (NAS) содержит RADIUS-клиент для взаимодействия с сервером RADIUS. Сервер RADIUS обычно является фоновым процессом, который запущен на Unix или Windows-сервере.

Работает это следующим образом:

- ➔ Пользователь или устройство отправляет запрос на сервер доступа к сети (NAS), в свою очередь, NAS посылает RADIUS-сообщение Access-Request на сервер RADIUS, запрашивая авторизацию.
- ➔ Этот запрос включает идентификацию пользователя по учетным данным, как правило, в форме логин-пароль или сертификата безопасности. Кроме того, запрос может содержать другую информацию, которую NAS знает о пользователе, например, его сетевой адрес или номер телефона.
- ➔ RADIUS-сервер проверяет правильность информации, используя схемы проверки подлинности, такие как PAP - протокол аутентификации пароля (Password Authentication Protocol), CHAP - протокол аутентификации с предварительным согласованием (Challenge Handshake Authentication Protocol) или EAP - расширенный протокол аутентификации (Extensible Authentication Protocol, EAP) [2].
- ➔ RADIUS-сервер в сторону NAS возвращает один из трех ответов:
  - 1) Access-Reject — сообщение обозначает, что пользователю запрещен доступ ко всем запрашиваемым сетевым ресурсам. Причины отказа могут быть в ошибке идентификации или при неизвестной или неактивной учетной записи пользователя.
  - 2) Access-Challenge — запрашивает дополнительную информацию от пользователя, такие как пароль, PIN-код, номер карты. Access-Challenge также используется в более сложных диалогах аутентификации, в котором защищенный туннель создается между пользовательским компьютером и сервером RADIUS таким образом, что учетные данные для доступа скрыты от NAS.
  - 3) Access-Accept — пользователю предоставляется доступ. Как только пользователь аутентифицирован, сервер RADIUS будет проверять, что пользователь авторизован для использования запрашиваемого сетевого сервиса.

Когда пользователь получил доступ к ресурсу, сервер доступа отправляет на сервер RADIUS запрос Accounting-Request-Start (RADIUS Accounting-request, содержащий атрибут Acct-Status-Type со значением "start"), который сигнализирует о начале пользовательской сессии. Атрибут "start" обычно содержит идентификатор пользователя, сетевой адрес точки присоединения и уникальный идентификатор

сеанса. Периодически приходит Interim-Update (промежуточное обновление записей RADIUS Accounting-Request, содержащий атрибут Acct-Status-Type со значением "interim-update"). Тогда сообщение отправляется от NAS к RADIUS-серверу, чтобы обновить статус активной сессии. Промежуточные отчеты, как правило, передают длительность текущего сеанса и информацию об использовании ресурса.

Когда наступает конец сессии и доступ к сети закрыт, NAS передает Accounting-Request-Stop на RADIUS-сервер, предоставляя информацию об окончательном количестве использованного времени, количестве переданных пакетов, оснований для отключения и другой информации, связанной с доступом пользователя к сети.

Рассмотренные способы идентификации пользователей и устройств серверами и протоколами AAA применимы не только для доступа, но и как уже было сказано выше для VPN и серверов приложений, на которых базируется организация телекоммуникационных услуг.

## **2. Разновидности услуг связи.**

Рассматривая разные виды услуг в сетях доступа обычно придерживаются традиционной схемы разбиения услуг применяемой у операторов связи, а именно:

- ✓ голосовые услуги связи, включая IP-телефонию;
- ✓ услуги доступа к сетям передачи данных и сети Internet;
- ✓ услуги IP-телевидения и видеослужбы.

### *Голосовые услуги.*

Центром при организации голосовых услуг является сервер(а) приложений голосовых (речевых) услуг. Поэтому начнем сразу с него, по ходу представляя необходимые пояснения.

Сервер(а) приложений - Application Server (AS) голосовых услуг является платформой для разработки и внедрения услуг. Он обычно состоит или подключен к двум другим важным для оказания голосовых услуг серверам — это Call Server - программный коммутатор (CS) и Signaling & Media gateway - шлюз сигнализации и медиа-шлюз (SMG) с применением стандартных протоколов.

Такой сервер приложений, кроме создания традиционных услуг телефонной связи еще как правило, использует преимущества открытых стандартов, таких как VoiceXML, CSTA и ParlayX, давая разработчикам приложений и провайдерам услуг почти неограниченный набор функций и возможностей для создания инновационных речевых услуг, от приложений интерактивного голосового меню (IVR; Interactive-voice-response) с возможностью передачи речи до унифицированных коммуникационных решений для частных и бизнес-пользователей:

- решения для передачи сообщений: голосовая почта, унифицированные сообщения, унифицированная связь, голосовые сообщения, видеосообщения и т.д.;
- решения для корпоративной связи: порталы связи, автосекретарь, конфигурирование PBX, программные центры обработки вызовов (call-центры), системы управления взаимоотношениями с клиентами - Customer Relationship Management (CRM), интеллектуальная маршрутизация и т.д.;
- решения для персональной связи: личные секретари, персональные порталы связи,

приложения автоконфигурирования и т.д.;

- решения общего доступа: системы с предоплатой, конференц-связь, телеголосование, регистрация вызовов и т.д.;
- поиск информации: общедоступный или коммерческий контент, здравоохранение, правительство, университеты, средства информации, общественный транспорт, справочные запросы, просмотр Web-страниц и т.д.;
- предопределенные вызовы: напоминания, экстренные вызовы, аварийные сигналы, уведомления и т.д.;
- развлечения: знакомства, мелодии вызывных сигналов, интерактивный чат, игры и т. д.

CS (Call Server) играет основную роль в коммуникационных решениях сетей общего доступа следующего поколения. Он обеспечивает предоставление услуг передачи речи, данных и мультимедиа. Используя различные протоколы, коммутатор управляет элементами сети NGN, осуществляет управление услугами, вызовами и соединениями. Функциональные возможности программного коммутатора CS должны обеспечивать построение систем на уровне местной станции (класс 5), транзитной станции (класс 4) или комбинации этих двух вариантов. Использование стандартных протоколов позволяет применять программный коммутатор CS в условиях полной IP-сети или в сети TDM при необходимости сопряжения или модернизации части сетевого сегмента.

Необходимо, чтобы CS поддерживал протоколы, позволяющие управлять разными типами оборудования и подключаться к ним:

- IP-терминалы и терминальные адаптеры; протоколы: SIP, MGCP, H.248;
- шлюзы доступа, допускающие подключение аналогового и терминального оборудования ISDN; протоколы: MGCP, H.248, IUA;
- шлюзы сигнализации и медиа-шлюзы (SMG), допускающие подключение к общедоступным и частным сетям TDM; протоколы: MGCP, H.248, SIGTRAN (M2UA, M3UA, IUA);
- медиа-сервер (MS), входящий в состав SMG, реализует генерацию и распознавание тональных сигналов, вызовы конференц-связи, функции уведомлений и VoiceXML; протокол: MGCP;
- программные коммутаторы, разработанные другими производителями; протоколы: SIP, SIP-T, H.323;
- SCP IN для услуг интеллектуальной сети; протокол: INAP (портативность номеров).

Шлюз сигнализации и медиа-шлюз SMG должен позволять модернизировать инфраструктуру сетей до IP-сети следующего поколения. Шлюз играет роль интерфейса между существующими сетями ТфОП и NGN. Традиционно SMG содержит три функциональных компонента, которые определены в архитектуре NGN и могут использоваться по отдельности или в любом сочетании:

- медиа-шлюз, преобразующий с помощью различных кодеков VoIP содержание канала TDM в поток пакетов данных, и наоборот;
- шлюз сигнализации, преобразующий сигнализацию DSS1, V5.2 и ОКС7 в сигнализацию IP (IUA, M3UA и M2UA, V5UA), передаваемую на программный коммутатор, где она терминируется, и наоборот;
- медиа-сервер, выполняющий генерирование и распознавание тональных сигналов,

обеспечивающий вызовы конференц-связи, оповещения и выполнение приложений VoiceXML.

Непосредственно сам сервер приложений AS голосовых услуг должен управлять всем функционалом и обязательно включать в себя следующее: все необходимые функции централизованного контроля и администрирования в сетях, с поддержкой системы эксплуатации (OSS; Operations Support Systems) для обработки отказов, управления, предоставление услуг и поддержание качества сети и услуг, конфигурирование услуг; автоматизацию процессов биллинга и ведения учета.

Рассмотрим управляющие протоколы VoIP, их особенности и возможные решения на базе их применения для приложений традиционной телефонии.

- **H.323.** Протокол ITU для интерактивной конференции. Был изначально предназначен для мультимедийного взаимодействия в сетях без установления соединения, таких как ЛВС. Устройства, используемые H.323, делятся на четыре категории:
  - ✓ **терминалы**, также называемые конечными точками (endpoints), предоставляют пользовательский интерфейс к протоколу H.323 и обеспечивают двустороннюю мультимедийную связь реального времени;
  - ✓ **шлюзы**, выполняют роль "переводчиков" для обеспечения взаимодействия между H.323 и не-H.323 протоколами, и так же, как и терминалы, рассматриваются как конечные точки;
  - ✓ **гейткиперы** (Gatekeeper — привратник) - выполняют функции контроля вызовов, такие как трансляция адресов и управление занимаемой полосой пропускания — их можно считать наиболее значимым компонентом в стеке H.323.
  - ✓ точки многопунктового контроля (Multipoint Control Unit — **MCU**) который и обеспечивают саму возможность конференций и строятся на базе серверов (один из видов сервера приложений).

Любой терминал, шлюз, гейткипер и MCU имеет свой уникальный IP-адрес. IP кроме адресации каждой точки H.323 обеспечивает механизм маршрутизации H.323-пакетов в сети. TCP выполняет установление начального соединения между терминалами H.323 и шлюзами/гейткиперами. Протокол UDP передает непосредственно голосовые пакеты через сеть. Используется H.323 в основном для соединений точка-точка и аудио и видео конференц связи.

- **MGCP** (Media Gateway Control Protocol). Предназначен для управления VoIP шлюзов, подключенных к внешним устройствам управления вызовами и является схемой с централизованным управлением вызовами. MGCP предоставляет сервис сигналинга для разных конечных устройств, таких как шлюзы, которые не поддерживают в полном объеме весь стек сигналинга, например H.323 и управляет телефонными шлюзами с центрального управляющего компонента, называемого телефонным агентом (Call Agent — например телефонная станция с поднятой нумерацией для шлюзов). Шлюзы взаимодействуют с агентами, которые осуществляют сигнализацию и обработку вызовов. MGCP-протокол использует взаимодействие между следующими элементами сети:
  - ✓ конечные точки - это точки соединения пакетной сети и традиционной телефонной сети;



- ✓ шлюзы - это узлы объединения конечных точек;
- ✓ телефонный агент MGC (Media Gateway Controller) центральный управляющий элемент в MGCP-окружении. MGC осуществляет управление деятельностью шлюзов в предположении, что шлюзы фиксируют события и докладывают о них. Агент, основываясь на событиях, инструктирует шлюзы о действиях, которые необходимо предпринимать. Он также инициирует все VoIP-этапы соединения.

Обычно на этом управляющем протоколе организуют IP-выноса, как от цифровых станций ЦСИО и аналоговых станций традиционной телефонии, так и от программных коммутаторов (SoftSwitch), особенно когда в качестве окончаний используются обычные ТА, присоединенные через IP-шлюз по традиционной САД на медных кабелях. Широко используется на конвергентных сетях.

- **SIP** (Session Initiation Protocol - протокол инициирования сеансов) - спецификации представлены в документе RFC 2543 комитета IETF. Протокол, определяет команды и ответы для установления и завершения телефонных вызовов, детализирует такие моменты как безопасность, прокси и транспортные сервисы. Широко применяется на операторских сетях связи для построения программных коммутаторов (SoftSwitch) большой емкости. Протокол SIP хорошо приспособлен для взаимодействия с ТфОП и проще в реализации. Он хорошо подходит любым провайдерам Internet для организации услуги IP-телефонии в рамках предлагаемого ими пакета услуг. Преимущественные особенности протокола SIP следующие:
  - поддержка персональной мобильности пользователя,
  - обеспечение масштабируемости сети,
  - возможность дополнения новыми функциями,
  - интеграция в стек существующих протоколов Internet,
  - взаимодействие с другими протоколами сигнализации,
  - организация доступа пользователей сетей VoIP к услугам интеллектуальных сетей,
  - независимость от транспортных технологий.

Протокол SIP работает с агентами пользователя (User Agents или SIP Clients), проху-серверами и серверами переадресации.

- ✓ Агенты пользователя — это приложения терминального оборудования, они включают собственно клиент (User Agent Client, UAC) и сервер (User Agent Server, UAS). UAC инициирует запрос услуги, а UAS выступает в качестве вызывающей стороны.
- ✓ Proху-сервер (Proху Server) объединяет в себе функции UAC и UAS. Он интерпретирует и, если надо, перезаписывает заголовки запросов перед отправкой их другим серверам, являясь разрешающей структурой для клиентов с точки зрения использования сервисов.

- ✓ Сервер переадресации (Redirect Server) определяет положение вызываемого абонента UAC и сообщает его вызывающему пользователю.

*Соответствие протоколов VoIP уровням модели OSI:*

Application	Софтфоны и приложения Call Server, Call Manager
Presentation	Кодеки
Session	H.323/SIP/MGCP
Transport	RTP/UDP (голос), TCP/UDP (управление)
Network	IP
Data-Link	Frame Relay, ATM, Ethernet, MLPPP, PPP, HDLC ...
Physical	Физическая среда передачи

RTP (Real-Time Transport Protocol). RTP доставляет голос через сеть. Обеспечивает очередность и маркировку времени для правильной последовательной обработки пакетов. Он не гарантирует доставку и правильный порядок пакетов, но позволяет приложениям обнаружить потерю или нарушение порядка следования пакетов за счет присвоения каждому из них номера. Протокол предназначен для работы в режимах передачи «точка-точка» или «точка-множество точек» и не зависит от транспорта, в качестве которого обычно используется протокол UDP.

RTCP (RTP Control Protocol). Используется для передачи управляющей информации для протокола RTP. Любое RTP-соединение имеет соответствующее RTCP-соединение. RTCP используется для предоставления информации о качестве сервиса. Участники сеанса RTP периодически обмениваются пакетами RTCP со статистическими данными (количество отправленных пакетов, число потерянных и т. д.), которые могут быть использованы отправителем мультимедиа, например, для динамической коррекции скорости передачи и даже изменения типа нагрузки.

*Услуги доступа к сетям передачи данных и сети Internet.*

Разделение трафика услуг L3 VPN, L2 VPN, VPLS и доступа в Интернет происходит на основе vlan тегов, по принципу один vlan на абонента (C-Vlan), для увеличения количества абонентских интерфейсов для крупных узлов может быть использовано двойное тегирование, в этом случае интерфейс абонента определяется двумя vlan тегами. Используется базовая схема доступа AAA, рассмотренная выше.

Абоненту по выбору доступны два вида IP-адресации:

- динамическая;
- статическая.

Некоторые операторы для повышения надежности услуги и стабильности доступа к своей сети используют следующие схемы резервирования.

Выделение второго VLAN для подключения абонента дает возможность резервировать услугу в сетях агрегации и доступа. Для каждого абонента сервисные псевдопровода прокладываются по различным физическим трассам, чтобы исключить обрыв обоих псевдопроводов при аварии одного из каналов в сети агрегации с «приземлением» основного и второго абонентских Vlan-ов на различных PE-AGG маршрутизаторах.

При этом на используемых промежуточных коммутаторах протокол STP (xSTP) должен быть включен в конфигурации по умолчанию, для предотвращения широковещательных штормов в случае ошибки коммутации линий связи.

Кроме того, при использовании таких схем Vlan на интерфейсах между NAS, маршрутизатором и BRAS, каждый используемый верхний тег должен коммутироваться на абонентские порты нескольких BRAS. Таким образом, широковещательный PPPoE или DHCP discovery запрос «видят» все BRAS, обслуживающие данную группу абонентов, при этом абонент инициирует сессию с первым ответившим на запрос BRAS. Данная схема работы распределяет нагрузку между всеми маршрутизаторами BRAS в группе и обеспечивает резервирование услуги за счет взаимного резервирования BRAS.

*IPTV - Internet protocol television (IP-телевидение).*

Типовая схема организации IPTV следующая - основной блок телеканалов (каналы федерального уровня) передается от оператора верхнего уровня или провайдера услуг IPTV к оператору связи через региональные маршрутизаторы центров в виде IP-пакета(ов) программ на операторский видеосервер формирующий IP-пакеты программ видеоконтента для абонента. От местного ОРТПЦ или местных промежуточных станций через промежуточный сервер на операторский видеосервер подается пакет каналов местного уровня. Промежуточный сервер производит необходимую обработку трафика (транскодирование каналов, добавление в поток региональных каналов и др.). Обработанный IP Multicast поток от операторского видеосервера подается на маршрутизаторы ядра операторской сети, где и происходит агрегация всех услуг предоставляемых оператором.

Для распространения трафика IP Multicast применяется технология Multicast VPN, описанная в RFC6513. От устройств агрегации трафика (ядра сети) IP Multicast доставляется на устройства концентрации и доступа в одном Multicast VLAN, в котором используется технология IGMP Snooping.

Транспортным протоколом для доставки трафика IP Multicast выступает UDP.

**3. Понятие управления услугой.**

Для управления услугами IPTV применяются серверы приложений типа Middleware. Они обычно позволяют сформировать и управлять следующим набором услуг:

- Пакеты телеканалов;
- Тематические пакеты телеканалов;
- Видео по запросу (VoD);
- Сетевой видеоманитон (Network PVR);
- Архив телепрограмм (Last X Days TV);
- Просмотр телепрограмм с начала (Start Over) (отложенный просмотр);
- Программа передач (EPG);
- «Родительский контроль» доступа к каналам/пакетам.

Голосовыми услугами на операторской сети обычно управляет SoftSwitch — программный коммутатор (SSW). Кроме базовых услуг:

- местная и внутрizonовая телефонная связь;
- факсимильная связь;
- услуги коммутируемого доступа;
- информационно-справочные услуги;
- выход на операторов дальней связи (МГ/МН),

абонентам доступен целый перечень дополнительных видов обслуживания (ДВО):

Тональный набор номера.

CLIP (Calling Line Identification Presentation) - представление абоненту информации о номере вызывающего абонента.

CLIR (Calling Line Identification Restriction) - запрет предоставления идентификации номера вызывающего абонента - предоставляет вызывающему абоненту возможность сохранять анонимность при совершении исходящих вызовов.

CFU (Call Forwarding Unconditionally) - переадресация вызова безусловная – позволяет переадресовывать все входящие вызовы, предназначенные для абонента услуги, на другой номер, назначаемый абонентом.

CFB (Call Forwarding Busy) - переадресация вызова при занятости - позволяет переадресовывать входящие вызовы абонента, на другой назначенный абонентом номер, в случае если терминал абонента занят (не будет работать при наличии у абонента активной услуги CW).

CFNR (Call Forwarding no Reply) - переадресация вызова при неответе - позволяет переадресовывать входящие вызовы абонента, на другой назначенный абонентом номер, если абонент не отвечает на них в течение предварительно заданного периода времени.

AR (Automatic Recall) - автоматический обратный вызов - позволяет пользователю выполнять автоматический обратный вызов на номер вызывающего пользователя, на вызов которого ранее не ответил, не зная номера - вызывающего пользователя.

HOLD (Call Hold) - удержание вызова - позволяет абоненту прервать разговор в установленном соединении и снова восстановить его по запросу.

CW (Call Waiting) - (при включенной услуге не будет функционировать CFB). Уведомление о поступлении нового вызова - обеспечивает уведомление абонента во время разговора о поступлении нового вызова, при этом абонент может ответить на этот вызов путем установки первого соединения в состояние “ожидания” (должна

быть активна услуга HOLD) и, после ответа на второй звонок, вернуться к прерванному разговору.

ЗРТУ (Three-Party Service) - (для реализации услуги должен быть активирован HOLD). Конференц-связь трех абонентов - позволяет организовать речевую конференцию с тремя участниками.

LNR (Last Number Dialed) - позволяет абоненту повторить последний набранный номер посредством использования специального сокращенного номера.

Для услуг доступа в Internet существуют подписки на различные ускорения по скорости коннекта.

Для управления услугами все больше операторов применяют порталы и личные кабинеты, которые сохраняют назначенные пользователями-абонентами услуги в БД и используя обращения к этим базам BRAS-ов организуют с помощью серверов приложений управление доступом и услугами.

Сеть для предоставления услуг связи абонентам включает в себя следующие функциональные уровни:

◆ Абонентские устройства. На данном уровне происходит идентификация услуги (S-VLAN) и классификация трафика согласно модели QoS.

◆ Уровень доступа. В устройства уровня доступа включаются абонентские устройства. На данном этапе происходит промежуточная идентификация абонента (C-VLAN).

Абонентское устройство (ADSL-модем, ONT или CPE) включается в access-порт коммутатора доступа (DSLAM, OLT или ACCS-SW) в зависимости от применяемой на сети абонентского доступа технологии СПД (ADSL, PON или FTTB). На абонентском интерфейсе происходит идентификация клиента посредством наложения (выделения) C-VLAN.

Для обеспечения корректной работы коммутатора доступа по предоставлению сервиса IPTV должна быть включена функция «igmp-snooping».

На каждый коммутатор доступа, подключенный к определенному порту сервисного маршрутизатора, назначается диапазон из 24 C-VLAN, уникальных для этого интерфейса маршрутизатора. VLAN-ы из этого диапазона назначаются последовательно на все интерфейсы коммутатора. Для предотвращения массовых отказов коммутаторы доступа не должны подключаться друг за другом, образуя цепи. Число клиентских портов коммутаторов доступа, трафик которых агрегируется на один порт сервисного маршрутизатора не может превышать 500 (20 коммутаторов по 24 access-порта).

◆ Уровень агрегации. Агрегирование трафика с уровня доступа и его доставка к устройствам сервисного уровня. Сеть уровня агрегации служит для прозрачной передачи трафика абонентов от устройств уровня доступа к устройствам сервисного уровня. В зависимости от предоставляемого транспорта устройства уровня доступа могут включаться в сервисный уровень тремя способами:

1) По выделенным каналам. При этом, осуществляется строительство новых оптических каналов либо использование существующих каналов в сети DWDM.

2) Через MPLS-сеть агрегации (L2+ сегмент). L2+ сегмент – это промежуточная транспортная сеть, предоставляющая услугу туннелирования Ethernet фреймов.

3) Через L2 сегмент посредством наложенной MPLS-сети. В данном случае в качестве устройства агрегации используется MPLS-агрегатор.

◆Сервисный уровень. Служит для терминции пользовательских интерфейсов и назначения политик для доступа к услугам. Основная задача, выполняемая маршрутизаторами на сервисном уровне – L3-терминация логических каналов, соответствующих сервисам определённых пользователей, кроме этого сервисный уровень обеспечивает:

- a) идентификацию абонентов и услуг;
- b) применение политик в соответствии с абонентскими профилями;
- c) управление правами доступа;
- d) управление качеством обслуживания;
- e) дальнейшую маршрутизацию трафика к серверам приложений и/или источникам вещания.

Пара сервисных маршрутизаторов обеспечивает резервирование услуг по портам, причём, в каждый момент времени услуги предоставляются на активном маршрутизаторе, второй находится в резерве без абонентского трафика. Сервисные маршрутизаторы должны быть связаны между собой высоконадёжными каналами для того, чтобы обеспечить непрерывный обмен информацией по протоколам, поддерживающим механизмы резервирования услуг (iсsr, vpls). Для этого используется агрегирование физических интерфейсов. Пропускная способность канала должна соответствовать пользовательской нагрузке, проходящей между сервисными маршрутизаторами по настроенным правилам анонсирования клиентских префиксов в ядро сети (в момент переключения с активного маршрутизатора на резервный).

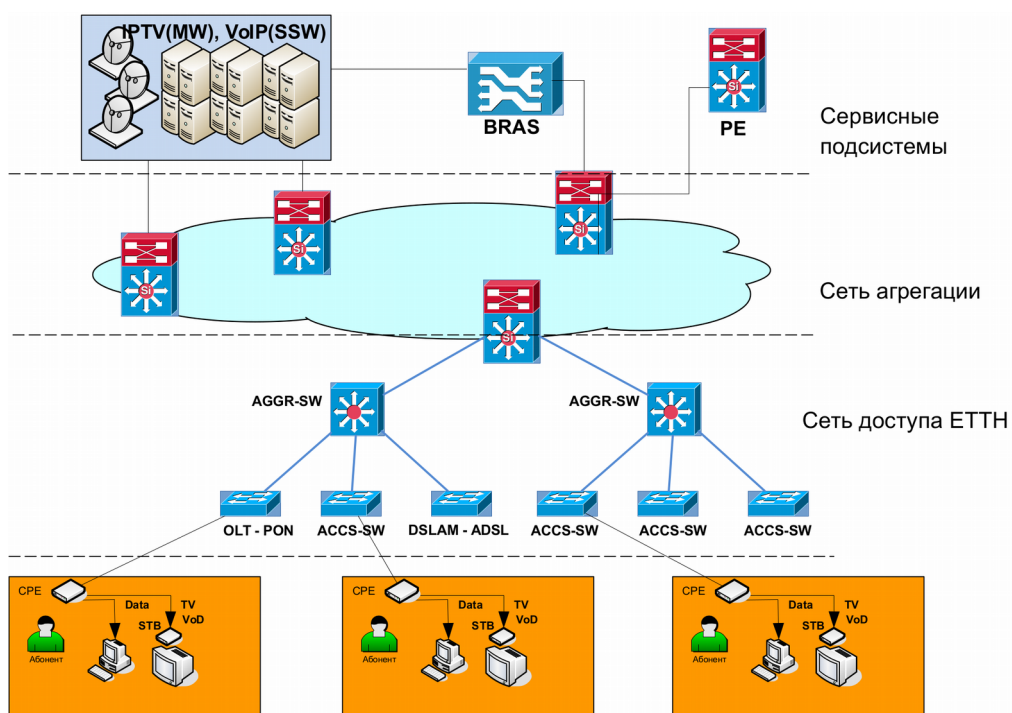


Рис. 1. Функциональные уровни типовой сети оператора связи.

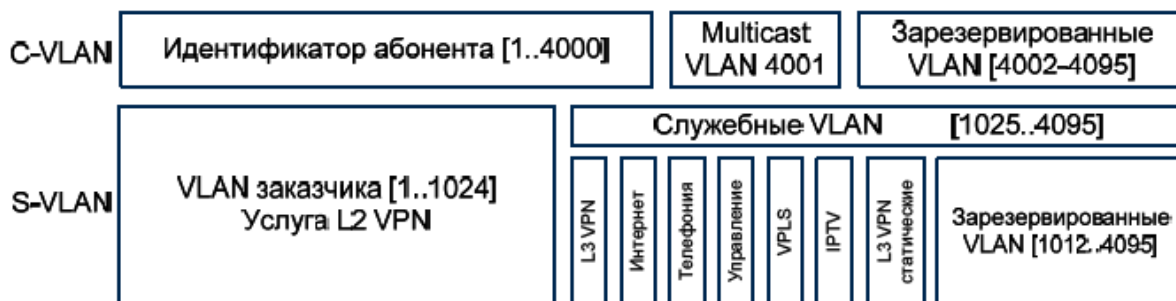


Рис. 2. Пример распределения Vlan в сети оператора.

#### 4. Подключение к услуге. Подключение абонентов на сетях доступа. Абонентские устройства.

##### Идентификация абонентов и услуг.

Поскольку сеть используется для оказания множества услуг различным пользователям, необходимо решить задачу по идентификации абонентов/требуемых услуг в сети и обеспечить логическую изоляцию трафика различных услуг и различных абонентов. При этом схема идентификации является универсальной.

В общем случае для идентификации абонентов и услуг на сервисном устройстве используется комбинация из трёх компонентов – стека из двух VLAN и интерфейса подключения к сервисному устройству. При этом интерфейс подключения и внешний тэг (C-VLAN) идентифицируют пользователя в сети, а внутренний тэг (S-VLAN) идентифицирует оказываемую услугу. Комбинация «C-VLAN/S-VLAN» должна быть уникальна в пределах одного порта и может совпадать на разных портах одного сервисного устройства.

При использовании такой схемы идентификации подключений важно, чтобы сеть агрегации позволяла сохранить информацию о точке подключения абонента при передаче данных к устройствам сервисной границы. Добиться этого возможно, обеспечив отдельный логический канал между сервисным устройством и устройством доступа в сети. При использовании выделенных каналов для подключения устройств доступа/агрегации, такие логические каналы будут совпадать с физическими.

В другом случае, при использовании наложенной MPLS-сети для подключения через существующие разделяемые каналы, такие каналы не будут зависеть от физического типа подключения и должны будут терминироваться на сервисном маршрутизаторе. Тип точки подключения к сервисному маршрутизатору для этих двух случаев будет различаться, в первом случае это будет физический порт, а в случае наложенной MPLS-сети это будет виртуальный канал MPLS. С точки зрения логики управления услугами, тарификации и поиска неисправностей такое различие не является существенным и не нарушает общих принципов лежащих в основе данной концепции.

В результате, при всех возможных типах каналов, используемых для агрегации подключений, схема идентификации абонентов на сервисных маршрутизаторах и на границе сети агрегации остаётся неизменной – точка подключения, C-VLAN, S-VLAN.

Разные абоненты на разных узлах агрегации (следовательно, и в разных сетях доступа) могут иметь одинаковые комбинации C-VLAN / S-VLAN. При этом на

сервисном маршрутизаторе они будут различаться по физическому порту подключения или по виртуальному каналу MPLS.

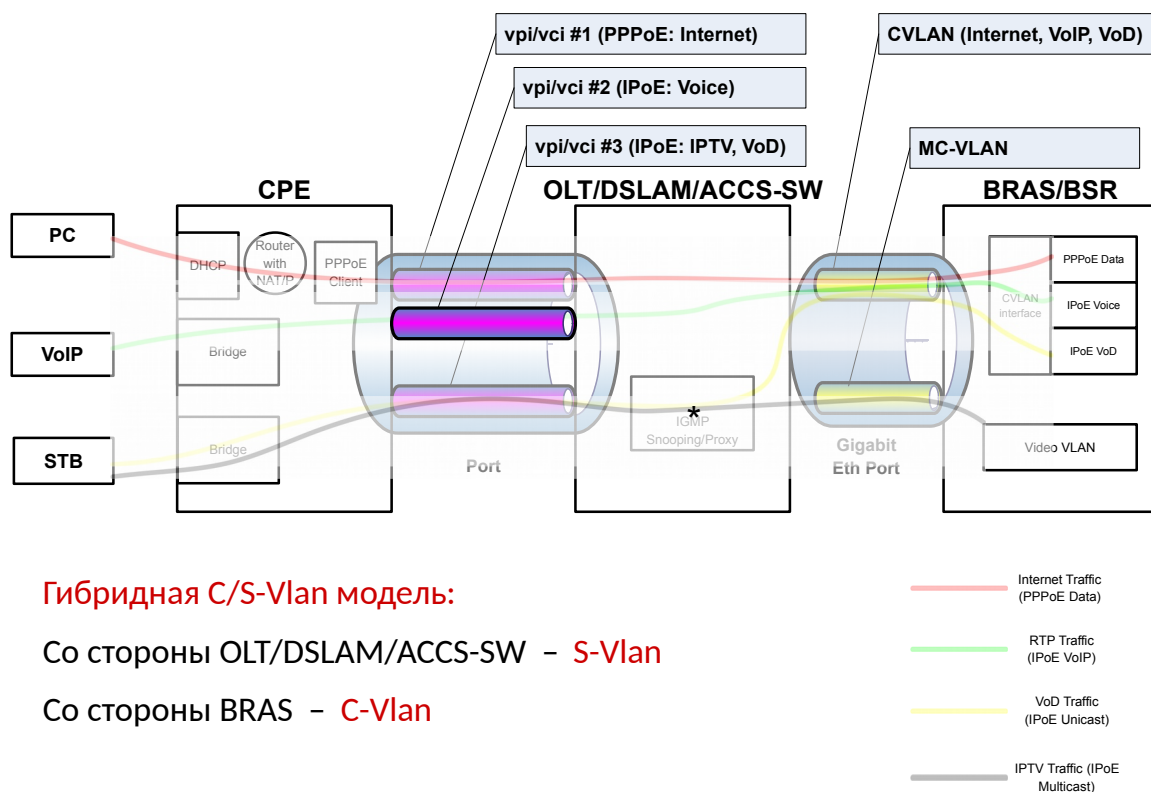


Рис. 3. Модель объединения услуг в одной сети СПД оператора.

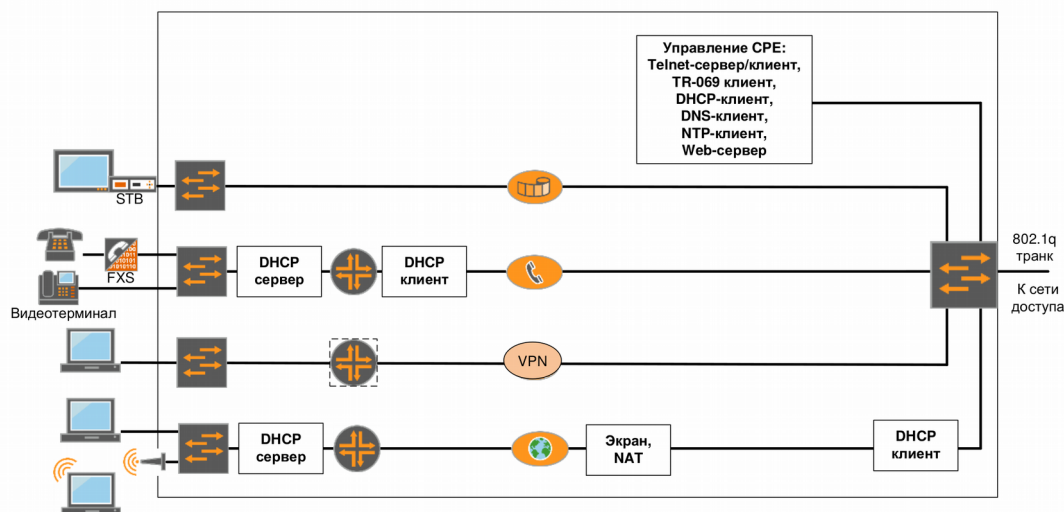


Рис. 4. Логическая структура абонентского устройства CPE.

Абонентское устройство (CPE) подключается к узлу доступа транковым портом. К оконечному устройству подключается оборудование пользователя (телефоны, iptv-приставки, коммутаторы, маршрутизаторы).

Подключение абонентского оборудования к CPE производится либо через access-port (без VLAN тэгов), либо транковым портом (услуга L2VPN «проброс транка»).

CPE включает каждый порт в S-VLAN, идентифицирующий определенную услугу. Управление CPE может быть реализовано удаленно посредством протокола TR-069 или через web-интерфейс или CLI.



Для услуг L3VPN и доступа в сеть интернет CPE может выполнять роли DHCP-сервера, транслятора сетевых адресов (NAT), брандмауэра. Для услуг L2VPN, IPTV абонентское устройство играет роль моста и передаёт фреймы прозрачно на порт соответствующего оборудования.

Для маршрутизации ip-трафика внутри CPE создаются виртуальные таблицы маршрутизации услуги доступа в сеть интернет (Inet RT), L3VPN (VPN RT) и VoIP (VoIP RT). Для управления абонентским устройством также создаётся виртуальная таблица маршрутизации (MGMT RT).

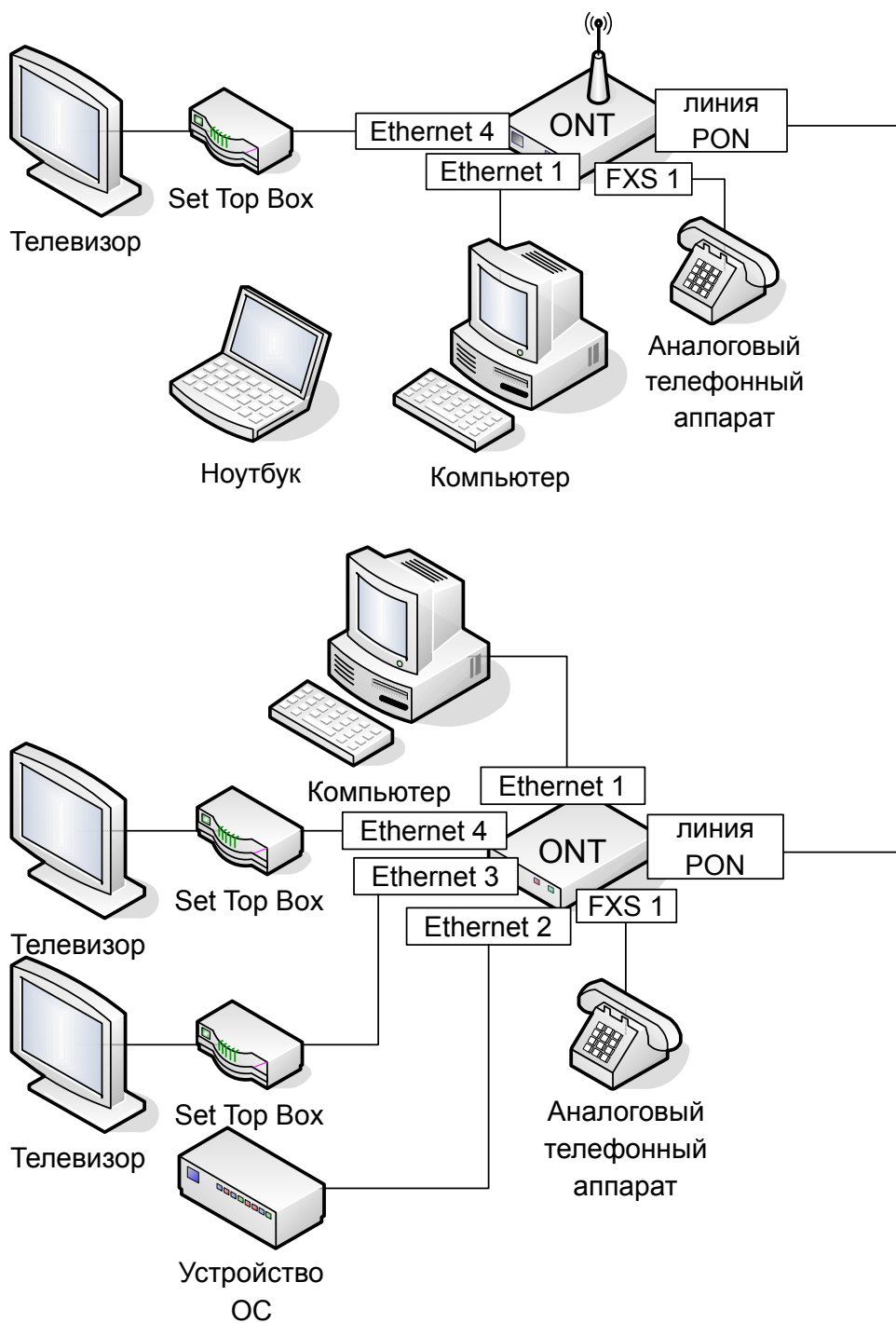


Рис. 5. Примеры схем подключения абонентских устройств к САД.

## Схема взаимодействия информационных систем

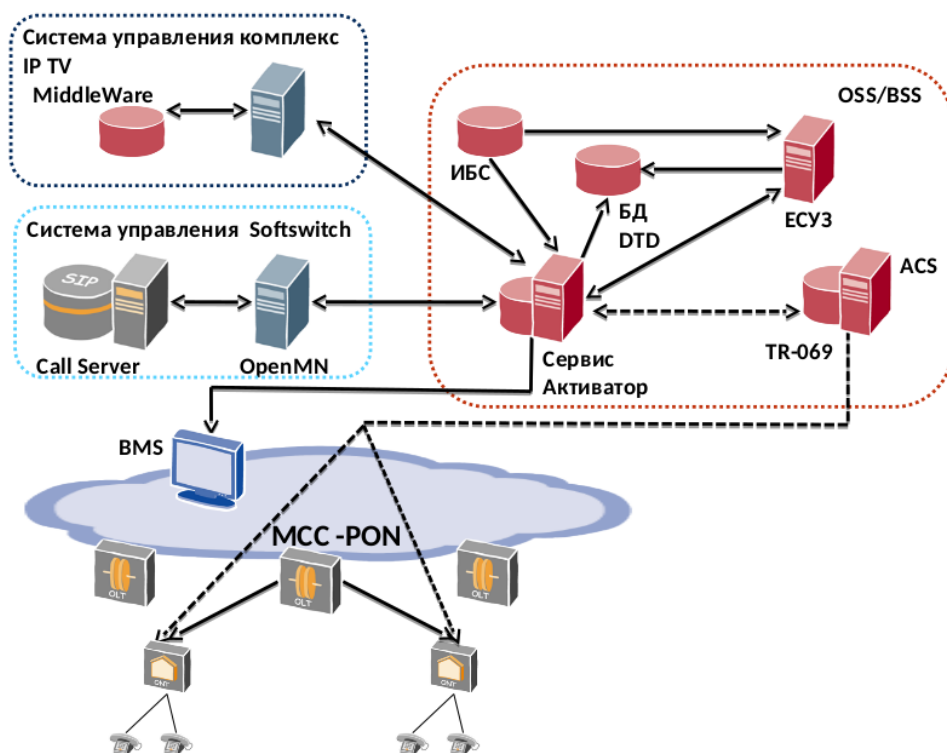


Рис. 6. Пример схемы взаимодействия ИС при подключении абонента.

Для обеспечения предоставления услуг и технической поддержки на сети оператора обычно используется комплекс интегрированных между собой информационных систем. В состав данного комплекса входят следующие системы управления:

- информационная биллинговая система (ИБС);
- система учета ресурсов и сервисов (база данных (DTD) Inventory);
- OpenMN (управление SoftSwitch);
- продуктовые веб-сайты;
- сервис активатор (HP-SA);
- Middleware (MW);
- единая система управления заявками (EСУЗ);
- ACS (Auto Configuration Server) – сервер автоматизированного управления абонентскими оконечными устройствами.

## Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»  
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович  
Тема: **Понятие инфраструктуры на сети доступа.**

### Учебные вопросы:

1. Коммутация абонентов сети, понятие кроссирования абонентов и услуг, Кроссы, их типы, станционная и линейная сторона.
2. Коммутационные устройства магистральных и распределительных сетей. Оптические кроссы. Сплиттеры.
3. Опоры и мачты.
4. Колодцы. Кабельная канализация.
5. Технический учет на сетях абонентского доступа.

### Литература:

1. Руководство по техническому учету оборудования и паспортизации сооружений ГТС. Утв. 6.03.1978 ГУ ГТС МС СССР.
2. Бычков И.Д., Гольдштейн Б.С. Технический учет в эксплуатационном управлении сетями. // Вестник связи, 2008, №1.

*Инфраструктура на сети абонентского доступа* — это совокупность сооружений, зданий, систем, служб и другого вспомогательного оборудования необходимых для размещения оборудования, поддержания функционирования услуг связи и обеспечения условий их бесперебойной работы.

Существуют два основных понятия инфраструктуры — это инфраструктура общего типа или общая инфраструктура в которую входит водоснабжение, газоснабжение, транспорт, связь, канализация и т.д. и отраслевая инфраструктура, обеспечивающая деятельность предприятия в зоне его покрытия (для предприятия связи) и, как правило создаваемая и принадлежащая не государству, а самому предприятию.

В отрасли связи, как и в других отраслях, абсолютно четкого разделения оборудования на основное и оборудование инфраструктуры нет. Поэтому рассмотрим все элементы, которые могут быть отнесены к инфраструктуре либо когда-либо к ней относились.

Услуги инфраструктуры обычно либо предоставляются, либо регулируются государством.

### **1. Коммутация абонентов сети, понятие кроссирования абонентов и услуг, Кроссы, их типы, станционная и линейная сторона.**

На сети абонентского доступа есть две конечные точки — первая — это узел доступа, где есть оборудование и возможность получить все услуги связи, и жилище абонента, где абонент и хочет получать эти услуги. И чтобы их до жилища абонента довести по существующим, построенным оператором связи линиям, необходимо с коммутировать эти линии так, чтобы услуги оказались в жилище. На САД выполнение такой коммутации на специально приспособленных для этого устройствах и называется кроссированием доступа или услуги до абонента.

В общем случае такое кроссирование бывает двух видов:

- выполняемое вручную с помощью отрезка линии или патчкорда;
- выполняемое с помощью электронного устройства, в том числе программное для группового абонентского оборудования (например PON) и кросскоммутирующее, выполняемое на кросскоммутаторах или устройствах включающих кросскоммутирование, как функцию.

Первое такое кроссирование (коммутирование абонента) происходит на кроссе в узле доступа. Такие кроссы обычно называются абонентскими (иногда станционными), в том числе и оптические. На таком кроссе всегда присутствуют две стороны:

- станционная сторона — сторона кросса на которую выведены все абонентские порты (окончания), в том числе и групповые, к которым и присоединяется АЛ; станционных сторон может быть несколько, в зависимости от типов применяемого оборудования или оказываемых услуг; например плюсом на станционной стороне может быть ряд сплиттер-боксов от оборудования ADSL — DSLAM-стоек с размещенными на них корзинами с ADSL-модемами или выходами от оборудования охранной сигнализации или выходами оборудования под выделенные линии — модемов, модемных корзин (модемных пулов) и прочего оборудования для оказания услуг;
- линейная сторона — сторона кросса, на которую выведены магистральные абонентские кабели, сгруппированные сотнями по магистралям или группами по магистралям (обычно по 25 линий, но может быть и по другому в зависимости от производителя и конструкции) (при ADSL-услуге их необходимо убирать, т. к. термички на таких полосах, не что иное, как катушки индуктивности) от распределительных шкафов, кабели прямого питания от абонентских коробок близлежащих домов или кабели передач на другие узлы доступа (станции).

При наличии техвозможности организации доступа абонента к услуге(-ам) его АЛ расписывается заранее либо техотделом либо автоматизированной системой учета АЛ и все кроссировки, выполняемые вручную, как на кроссах, так и в распределительных шкафах там указаны и внесены в наряд на выполнение подключения абонента.

## **2. Коммутационные устройства магистральных и распределительных сетей. Оптические кроссы. Сплиттеры.**

На САД в зоне действия УД установлены распределительные шкафы, в которые заводятся абонентские магистрали и распределения. В РШ они сгруппированы сотнями боксами 10x10 плитов с маркировкой M1(2,3,4 . . .) — которые идут в сторону кросса УД, P1(2,3 . . .) - которые идут в сторону абонентских коробок. Кроссировка выполняется в самом РШ с MN-пары плит магистральной на PN-пару плит распределения. В некоторых случаях применяются межшкафные передачи, тогда связь — кроссировка подается с магистрали на передачу, а в другом РШ с передачи в распределение. Так выполняются кроссировки на проводных абонентских линиях. Традиционно на АЛ применяются 10-парные плиты. Для кабелей небольшой емкости применяются не кабельные шкафы, а кабельные ящики с размещением на опорах и полуопорах. От распределительных коробок, как

правило подъездных отходит абонентская проводка, иногда ее называют «последний дюйм».

На оптических САД все аналогично, только на станционной стороне кросса УД кроссируется групповой порт на первый сплиттер, в ОРШ тот же групповой порт на второй сплиттер и т. д. От последней ОРК, находящейся, как правило, в подъезде абонента или неподалеку, до квартиры абонента прокладывается оптический патчкорд завершающийся в квартире абонентской оптической коробочкой (розеткой), куда и включается другим патчкордом ОНТ.

Для размещения сплиттеров применяются оптические распределительные шкафы ОРШ и коробки ОРК. Для прокладки и защиты оптических патчкордов применяются отдельные вертикальные межэтажные стояки трубного или канального типов и типовые электрокороба для горизонтальной прокладки. В общих слаботочных стояках прокладывать медный провод и оптические патчкорды **запрещено**.

### **3. Опоры и мачты.**

Строительство мачтовых и башенных сооружений получило в последнее время широкое развитие. Подавляющее большинство мачт и башен возводится для удовлетворения потребности средств связи и это связано с развитием радио, телевидения, сотовой и других видов радиосвязи. В эти годы мачты и башни приобрели современные конструктивные формы и возведение их стало индустриальным и механизированным.

АМС (антенно-мачтовые сооружения) размещаются на территории действия оператора связи для организации беспроводной связи и размещения АФУ (антенно-фидерных устройств) и включают в себя:

- металлические сооружения башенного типа,
- металлические мачты с оттяжками,
- деревянные опоры,
- бетонные опоры (редко).

**Мачта** – вертикально установленный стержень, шарнирно или с заземлением, опирающийся на фундамент, удерживаемый в вертикальном положении натянутыми, наклонно идущими к земле стальными канатами – оттяжками. Мачты могут иметь один или несколько ярусов оттяжек.

**Башня** – вертикально и свободно стоящая конструкция, консольно заземленная в основании, не требующая каких-либо оттяжек для обеспечения вертикального положения.

Цвета окраски башни отвечают требованиям дневной маркировки препятствий и объектов РЭГА ГФ-94. Дневная маркировка имеет два резко отличающихся друг от друга маркировочных цвета: КРАСНЫЙ (сигнально-красный, красно-оранжевый) и БЕЛЫЙ. Верхняя секция окрашена в красный цвет, нижележащая за ней - в белый, следующая нижележащая - в красный и т.д. Нижняя секция окрашена в красный цвет.

Все мачты высотой более 50м в ночное время должны нести сигнальные огни.

Все антенные опоры независимо от высоты (кроме опор со стороной грани или диаметром 700 мм и менее) должны иметь лестницы.

Опоры воздушных столбовых линий применяются для подвеса кабелей и проводов линий связи и подразделяются на следующие типы:

- а) промежуточные, устанавливаемые на прямолинейных участках линии;
- б) угловые, устанавливаемые в местах изменения направления линии;
- в) переходные, устанавливаемые в местах перехода линий связи через железные, автомобильные дороги, водные и другие преграды;
- г) контрольные, устанавливаемые в местах, где провода линии подвергаются контрольным электроизмерениям и испытаниям;
- д) оконечные (вводные) и кабельные, устанавливаемые в пунктах ввода проводов в предприятия связи или здания другого назначения или при переходе с воздушной линии на кабельную.

По материалу изготовления опоры подразделяются на деревянные, железобетонные и деревянные в железобетонных приставках и без. Деревянные опоры должны изготавливаться из хвойных пород деревьев: сосны, лиственницы, кедра и ели. Деревянные опоры, приставки и траверсы должны быть пропитаны антисептиком.

Кабельные опоры должны устанавливаться в местах перехода воздушной линии на кабельную. Кабельные опоры должны устанавливаться в местах, имеющих свободный доступ для обслуживающего персонала; на берегах рек они должны устанавливаться в незатопляемой местности.

Для защиты опор воздушной линии связи от ударов молнии на кабельных вводных угловых и переходных опорах должны быть установлены молниеотводы, выполненные из целого отрезка стальной оцинкованной проволоки диаметром от 4 до 5 мм и заземлителя.

#### **4. Колодцы. Кабельная канализация.**

В большом и среднем по численности населения городе менять или добавлять кабели связи приходится достаточно часто. Если бы это делалось с раскопкой грунта, то асфальтовое покрытие в центрах городов приходилось бы менять по нескольку раз в год. Поэтому для кабелей связи и предусмотрен свой тип канализации — кабельная канализация (КК). Канализация связанная ни как не связана с канализацией сточной, хотя роль ливнёвки она иногда невольно выполняет.

Незаметная и непонятная для обывателей, исправная связанная канализация позволяет затянуть кабель без раскопок в любую многоэтажную часть города. В последние годы ни один проект строительства любого многоквартирного дома или промышленного объекта не принимался без канализации кабельной. Поэтому связанная канализация может находиться в довольно неожиданных для посторонних людей местах. Со временем она может прийти в негодность из-за замывания или проломов каналов и колодцев, поэтому требует ремонта и обслуживания.

Состоит она из каналов и смотровых устройств.

Каналы, в большинстве своём, строятся из соединённых манжетами асбестоцементных труб диаметром в 90-110 мм или полиэтиленовых труб 35-110 мм, но иногда можно встретить и блочные конструкции и другие виды труб. В местах где нет возможности проложить каналы их углубляют достаточно глубоко и применяют стальные трубы или в последнее время используют технологии

глубинных проколов с применением полимерных армированных и неармированных труб.

В зависимости от потребности количество каналов тоже различно. На окраине канализация может содержать только 1 канал-трубу, а выход с крупной станции может содержать 40-50 каналов.

Смотровые устройства - это колодцы кабельной канализации связи. Обычно ставятся на расстоянии 50 - 100 метров друг от друга (допустимо 150 м). В соответствии с размерами различают основные 5 их типов, по увеличению: ККС-1, ККС-2, ККС-3, ККС-4, ККС-5. Колодец возле крупной станции как правило больше чем ККС-5 и называется станционным.

В городах, кроме КК применяются коммуникационные коллекторы, в которых для кабелей связи отводится свое место. В таких коллекторах кабели связи обычно размещаются на специально установленных консолях вдоль боковой стенки.

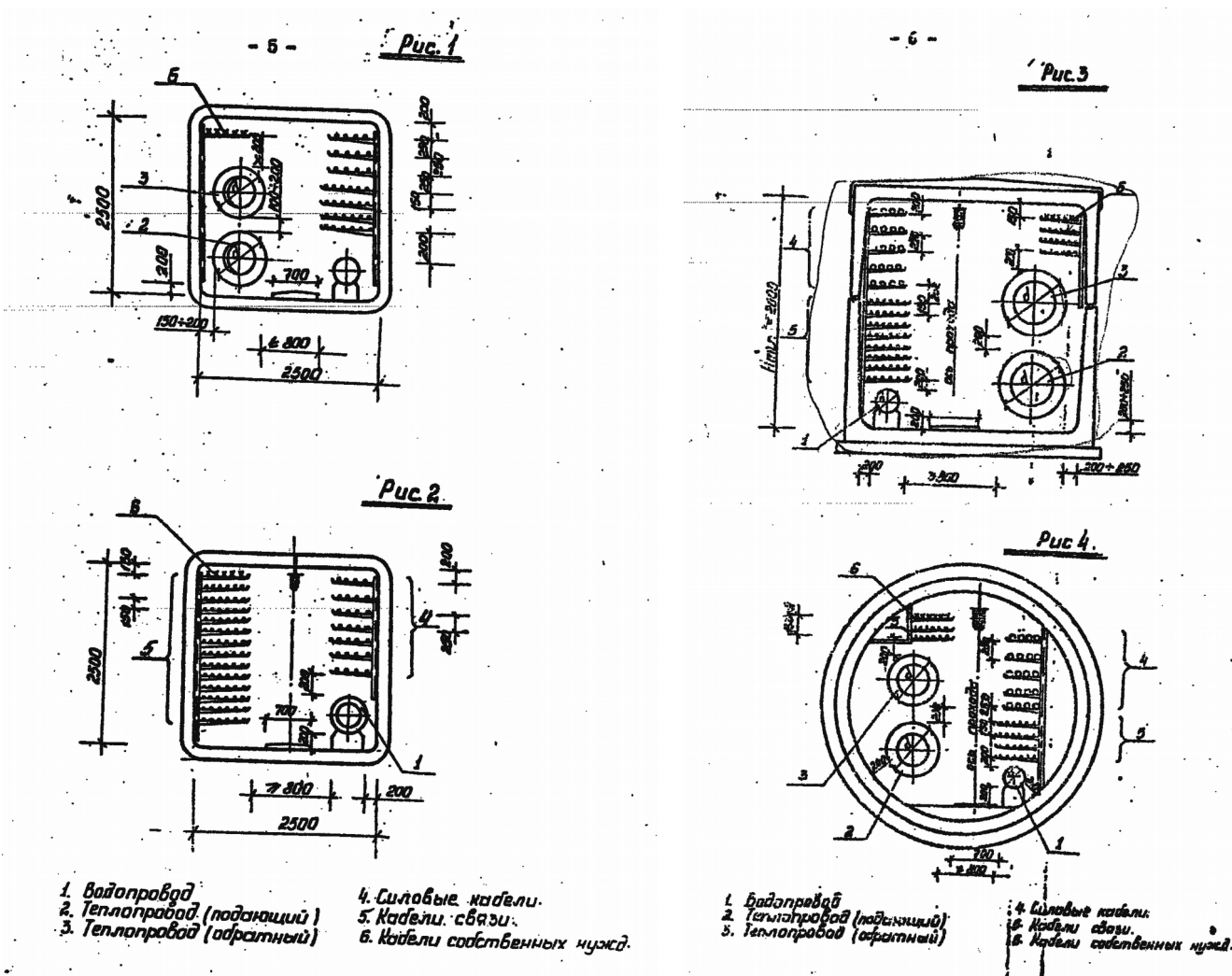


Рис. 1,2,3,4. Расположение коммуникаций в коллекторах разного типа.

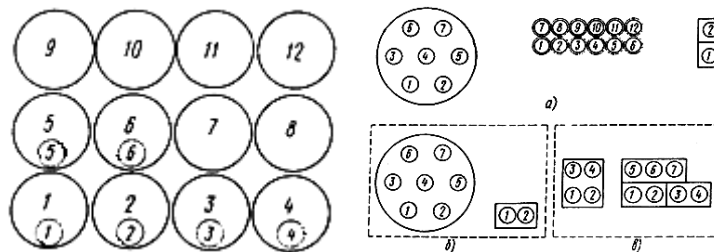


Рис. 5. Эскиз прохождения кабелей во вводном блоке и счет каналов кабельной канализации.

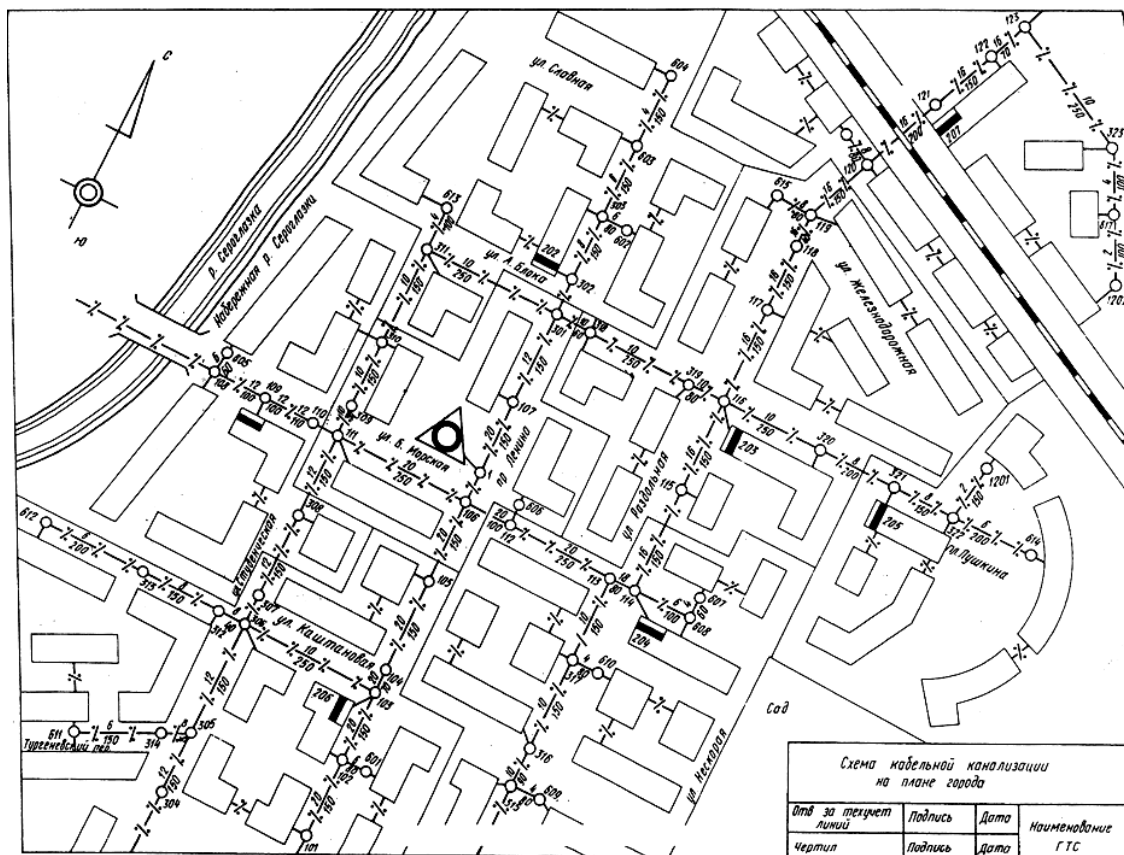


Рис. 6. Схема кабельной канализации на плане города.

### 5. Технический учет на сетях абонентского доступа.

Для обеспечения нормального и правильного использования, то есть эксплуатации, любых коммуникационных сетей требуется точный учет состава, использования и технического состояния всех линейных и прочих сооружений и всех видов оборудования.

Основной задачей технического учета на предприятиях связи является обеспечение полного соответствия действующих ЛКС, оборудования и элементов инфраструктуры технической документации и паспортизации.

Процесс технического учета ресурсов сети охватывает все, что имеет отношение к физическому оборудованию телекоммуникационной сети и к административному управлению этим оборудованием. Информация технического учета задействуется при установке и приемных испытаниях нового сетевого оборудования, при физическом переконфигурировании сети, для верификации биллинга, для контроля прав доступа абонента к услугам, для организации



ремонта, для обеспечения запасными частями и во многих других аспектах деятельности оператора. Критически важными факторами для успеха системы технического учета являются полнота и актуальность данных учета ресурсов, синхронизация многочисленных баз данных ресурсов сети, а также обновление этих баз данных в соответствии с реальным состоянием сети и производимыми изменениями.

Таблица 1. Информация для технического учета.

<b><i>Источник информации</i></b>	<b><i>Информация</i></b>
Процесс конфигурирования абонентских услуг	Добавление/изменение/удаление услуг
Процесс техобслуживания и восстановления	Наряды на восстановительные работы, прекращение работ, окончание работ
Процесс планирования и развития сети доступа	Наряды на работы
Процесс подготовки сети к работе	Наряды на работы
Процесс управления сетевыми элементами	Уведомления об изменениях
Поставщик	Наличие новых/запасных/прошедших ремонт компонентов, информация о проблемах с оборудованием и др.

В настоящее время у большинства операторов связи техучет производится в электронном виде с использованием специализированных программ и баз данных ресурсов сети оператора. Традиционным способом доступа к таким базам стало использование web-технологий.

МСЭ-Т предложил модель данных учета ресурсов сети согласно своей рекомендации М.3100 (УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОСВЯЗЬЮ, ВКЛЮЧАЯ СУЭ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ СЕТЕЙ. Общая информационная модель сети).

Несмотря на существующую рекомендацию, которая носит концептуальный характер, у многих операторов существуют и широко используются свои БД и программы учета ресурсов.

## Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»  
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович

Раздел: **Разновидности технологий связи на сетях абонентского доступа и их применение.**

Тема: **Разновидности и технологии доступа по проводным сетям.**

### Учебные вопросы:

1. Разновидности организации доступа и их особенности к голосовым услугам связи.
2. Передача данных по проводным сетям. Технологии DSL. Передача данных по коаксиальному кабелю — технология DOCSIS.
3. Выделенные линии. Способы формирования сигналов. Протокол X.25.
4. Наложённые услуги. Проблемы и решения в проводных сетях.
5. Услуги оповещения и циркулярного вызова.

### Литература:

1. Олифер В.Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2012. – 943 с.
2. DOCSIS 3.1 — как достичь максимальной пропускной способности. Материалы сайта <https://m.habr.com>.
3. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети. 5-е изд. — СПб.: Питер, 2012. — 960 с.

В настоящее время итогом любой стратегии или нового проекта любого оператора связи является подключение новых клиентов и таким образом расширение сети доступа или внедрение новых востребованных клиентом услуг, которые уже появились на рынке или разработка и внедрение перспективных, объявленных в рамках некоторых концепций или перспективных планов или проектов услуг, ранее на рынке не предоставлявшихся.

Абоненты сетей операторов связи всегда, а в последнее время особенно, стали обращать особое внимание на скорость доставки востребованного контента и на качество такой доставки. А значит скорость передачи и ширина пропускания канала на сети доступа будет и далее одним из основных факторов выбора оператора.

### **1. Разновидности организации доступа и их особенности к голосовым услугам связи.**

Если брать за основу среду передачи данных САД, то как рассматривалось ранее на лекциях основные способы организации именно широкополосных каналов следующие:

- на проводной среде - варианты xDSL доступа,
- на оптике — PON и гибридная FTTB,
- на радио доступе — широко применяемый Wi-Fi, плюс другие БШПД на основе вариантов RadioEthernet.

Рассматривая развитие сетей с точки зрения услуг операторы определили наборы наиболее востребованных клиентами сетей базовых услуг, в основе которых лежат, как мы уже рассматривали три типа доступа и варианты услуг на их основе:

- доступ к платформе голосовых услуг,
- доступ к сетям ПД - в основном к сети Интернет и в случае потребности к выделенной одной или нескольким VPN,
- доступ к видеоконтенту и платформам видеослужб.

Основные принципы построения голосовых услуг были рассмотрены на 4 лекции. Теперь рассмотрим основные варианты структурной организации этой услуги на сети абонентского доступа оператора до коммутатора, где поднята нумерация абонента или производится его авторизация (регистрация).

- 1 вар-т — ТА — АЛ — АТС (аналоговая либо цифровая с пространственной или TDM коммутацией);
- 2 вар-т — ТА — АЛ — IP-шлюз (по MGCP) — IP-сеть(выделенный канал Ethernet либо отдельный Vlan) — MGW(медиа-шлюз) или SMG(Шлюз сигнализации и медиа-шлюз) — СЛ (сигнальный транк) или Sigtran — АТС;
- 3 вар-т — ТА — АЛ — IP-шлюз (по MGCP) — IP-сеть(выделенный канал Ethernet либо отдельный Vlan) — MGW(медиа-шлюз) или SMG(Шлюз сигнализации и медиа-шлюз) — СЛ (сигнальный транк) или Sigtran — SSW;
- 4 вар-т — ТА — АЛ — IP-шлюз (по SIP) — IP-сеть(выделенный канал Ethernet либо отдельный Vlan) — SSW;
- 5 вар-т — IP-Phone (по SIP) — IP-сеть(выделенный канал Ethernet либо отдельный Vlan) — SSW.

Все рассмотренные варианты структур можно использовать на традиционной проводной медной сети доступа, а четыре последних варианта и на разных цифровых сетях доступа включая гибридные.

Операторам с большой территорией охвата и разными сетями доступа такая вариативность очень нужна и для привлечения новых абонентов и для удержания существующих.

В дополнение можно отметить, что эти 5 предложенных способов конечно не единственные с точки зрения построения услуги, возможны и многие другие, но эти способы имеют такое существенное превосходство над другими структурами в том, что при передаче услуги между разными сетями (в смысле сопряжений сетей традиционной телефонии POTS и IP-сетями ПД) имеют меньшее количество преобразований (конвертаций) сигнала, а следовательно меньше искажений при передаче. Такой подход необходимо стремиться применять при построении услуг и сетей всегда, и направлять голосовой поток (речь) сразу в сеть POTS или IP-сеть в зависимости от способа подключения второго абонента, избегая множественных повторных преобразований.

## **2. Передача данных по проводным сетям. Технологии DSL.**

Большое количество существующих медных линий в РФ не позволят в короткий срок модернизировать эту сеть доступа и поэтому операторы вынуждены продолжать ее использование с внедрением на проводных сетях широкополосных технологий.

xDSL — семейство технологий, позволяющих значительно расширить пропускную способность абонентской линии сети доступа путём использования эффективных линейных кодов и адаптивных методов коррекции искажений линии.

В аббревиатуре xDSL символ «x» используется для обозначения первого символа в названии конкретной технологии, а DSL обозначает цифровую абонентскую линию DSL (англ. Digital Subscriber Line — цифровая абонентская линия).

Перечислим основные технологии проводных DSL:

- 1) ADSL - Asymmetrical Digital Subscriber Line (асимметричная цифровая абонентская линия);
- 2) RADSL - Rate Adaptive Digital Subscriber Line (цифровая абонентская линия с адаптивной скоростью);
- 3) HDSL - High Bit Rate Digital Subscriber Line (цифровая абонентская линия с высокой скоростью передачи битов);
- 4) SHDSL - Symmetrical High Bit Rate Digital Subscriber Line (симметричная высокоскоростная цифровая абонентская линия);
- 5) SDSL – Single-line Digital Subscriber Line (высокоскоростная цифровая абонентская линия по 1 паре);
- 5) VDSL - Very High Bit Rate Digital Subscriber Line (цифровая абонентская линия с очень высокой скоростью передачи битов).

Самым распространенным на сегодня является предоставление доступа в сеть Интернет с использованием технологии ADSL и SHDSL.

Сравнительный анализ технологий ADSL и SHDSL.

Таблица 1.

Технология DSL	Максимальная скорость (прием/передача)	Максимальное расстояние	Количество телефонных пар	Основное применение
ADSL	24Мбит/с / 3,5Мбит/с	5,5 км	1	Доступ в Интернет, голос, видео, HDTV (ADSL2+)
SHDSL	2,32 Мбит/с	7,5 км	1	Объединение сетей

Технология ADSL представляет собой вариант DSL, в котором доступная полоса пропускания канала распределена между исходящим и входящим трафиком несимметрично — для большинства пользователей входящий трафик значительно более существенен, чем исходящий, поэтому предоставление для него большей части полосы пропускания вполне оправдано (исключениями из правила являются пиринговые сети (одноранговые компьютерные сети, основанные на равноправии участвующих в обмене файлами, то есть каждый участник одновременно является и клиентом, и сервером) и электронная почта, где объем и скорость исходящего трафика бывают важны). Обычная телефонная линия использует для передачи голоса полосу частот 0...4 кГц. Чтобы не мешать использованию телефонной сети по её прямому назначению, в ADSL нижняя граница диапазона частот находится на уровне 25 кГц. Верхняя же граница, исходя из требований к скорости передачи данных и возможностей телефонного кабеля, составляет 1,1 МГц. Эта полоса пропускания делится на две части — частоты от 26 кГц до 160 кГц отведены исходящему потоку данных, а частоты от 240 кГц до 1,1 МГц — входящему.

Метод передачи информации, разработанный для ADSL, состоит в том, что для передачи сигналов используется 256 несущих - бинов. Это означает, что в канале передачи работают 256 мини-модемов, каждый из которых передает информацию на своей несущей. Между несущими устанавливается защитный интервал.

Объем передаваемой информации на отдельной несущей зависит от соотношения сигнал/шум на данной частоте. В процессе установления связи модем и DSLAM выполняют диагностику на каждой несущей. Если на несущей соотношение оказывается небольшим, то количество бит/с на ней устанавливается меньшим. Подробнее принцип работы ADSL с DMT рассмотрим ниже.

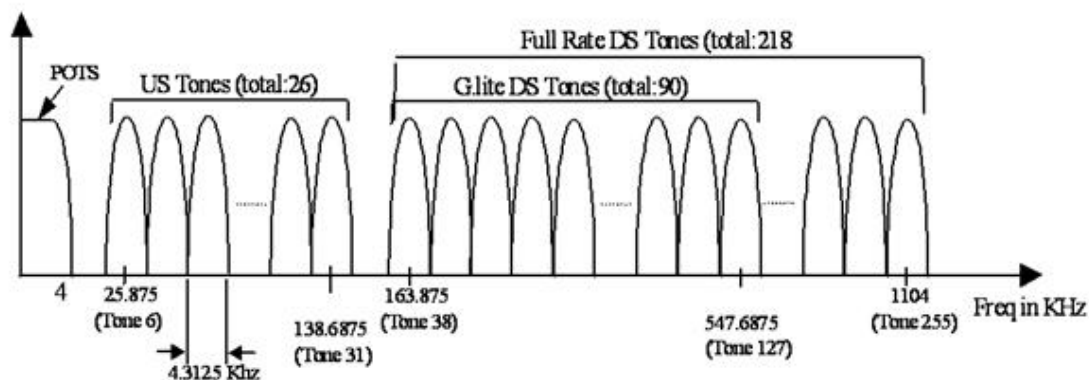


Рис. 1. Использование спектра частот в технологии ADSL.



Рис. 2. Дискретная многотоновая модуляция DMT в технологии ADSL.

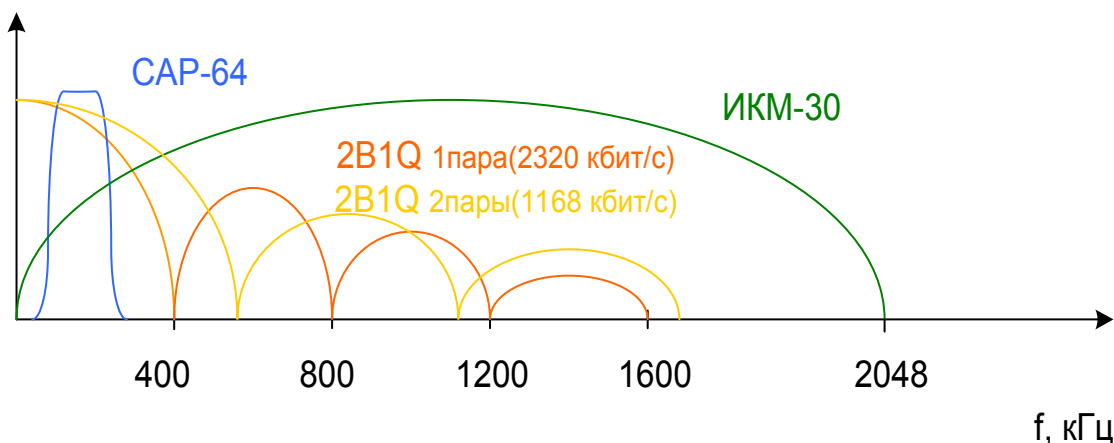


Рис. 3. Использование спектра частот в технологиях HDSL, SDSL, SHDSL, ИКМ.

## Принцип работы ADSL.

Подитогом вышесказанного для этой технологии передачи является:

1. Передача и прием данных производится в разных частотных полосах пропускания:
  - Восходящий поток (от абоненского уст-ва) - частоты от 25,875(138)кГц до 138(276)кГц;
  - Нисходящий поток (к абонентскому уст-ву) - частоты от 138(276)кГц до 1,104(2.208)МГц.
2. Метод кодирования данных — DMT — Discrete Multi-tone — дискретный многочастотный метод передачи, который делит полосу передачи-приема на несущие (поднесущие) частоты с шириной полосы в каждой 4,3125кГц. Для технологий ADSL, ADSL2 применяется max=>256 несущих, из них каждая может быть промодулирована от 4 до 256 битами. Восходящий поток — 16(32) несущие в зависимости от версии Annex. Нисходящий поток — 256-16(32)=240(224) несущие.
3. Транспортный протокол передачи — АТМ - Asynchronous Transfer Mode — асинхронная сетевая технология коммутации и мультиплексирования на основе ячеек (cell) фиксированного размера 53 байта, из которых 5 байтов — заголовок.

Таблица 2. Варианты технологии ADSL по стандартам.

Технология	Стандарт	Скорость Down/Up stream
<b>Версии ADSL</b>		
ADSL	ANSI T1.413-1998 Issue 2	8/1.2Мбит/с
ADSL G.DMT	ITU G.992.1	8/1.3Мбит/с
ADSL over POTS	ITU G.992.1 Annex A	12/1.3Мбит/с
ADSL over ISDN	ITU G.992.1 Annex B	12/1.3Мбит/с
ADSL G.Lite	ITU G.992.2	1.5/0.5Мбит/с
<b>Версии ADSL2</b>		
ADSL2	ITU G.992.3	12/1.2Мбит/с
ADSL2 over POTS	ITU G.992.3 Annex A	12/1.2Мбит/с
ADSL2 over ISDN	ITU G.992.3 Annex B	12/1.2Мбит/с
ADSL2	ITU G.992.3 Annex J	12/3.5Мбит/с
RE-ADSL2	ITU G.992.3 Annex L	5/0.8Мбит/с
ADSL2	ITU G.992.3 Annex M	12/3.5Мбит/с
Splitterless ADSL2	ITU G.992.4	1.5/0.5Мбит/с
<b>Версии ADSL2+</b>		
ADSL2+ G.DMT.bis.plus	ITU G.992.5	24/1.2Мбит/с
ADSL2+ over POTS	ITU G.992.5 Annex A	24/1.2Мбит/с
ADSL2+ over ISDN	ITU G.992.5 Annex B	24/1.2Мбит/с
ADSL2+	ITU G.992.5 Annex M	24/3.5Мбит/с
RE-ADSL2+	ITU G.992.5 Annex L	24/1.5Мбит/с

Annex — разновидности стандарта ADSL совместно с телефонией в линии.

*Annex A* — ADSL поверх POTS Up-поднесущие от 6 до 31, Down-поднесущие от 38.  
*Annex B* — ADSL поверх ISDN Up-поднесущие от 33 до 57, Down-поднесущие от 63.  
Возможно совместное применение на линии охранной ВЧ-сигнализации.  
*Annex L* — увеличивает дальность(до 7км) за счет применения схем подавления перекрестных помех и увеличения мощности сигнала на нижних тонах.  
*Annex M* — для хороших линий увеличивает скорость Up за счет увеличения количества Up-поднесущих вдвое до 64, на это же количество уменьшается и количество Down-поднесущих. Может работать в связке с *Annex A*.  
*Annex J* — выделенная линия **без телефонии** рабочая полоса от 0.3кГц, Up-поднесущие от 1 до 57, Down-поднесущие от 63.

Технология ADSL2+ поднимает верхнюю границу полосы до 2.208МГц с количеством несущих до 512.

Основным принципом в АТМ является формирование данных для передачи в два этапа:

**1.** => сегментация данных в виде ячеек АТМ(53байта=48байт данные(блоки PDU) + 5байт заголовок) с присвоением ячейкам типов данных по классам сервиса:

- CBR (Constant Bit Rate) — данные с постоянной битовой скоростью, представляют собой один из классов сервиса АТМ. Основной параметр - пиковая скорость передачи ячеек PCR (Peak Cell Rate) - максимальная скорость в канале без риска потерять ячейку. Данные передаются по этому соединению с запрошенной скоростью - не быстрее и, не медленнее. CBR-соединения гарантируют пропускную способность с минимальной вероятностью потери ячейки и незначительным изменением времени задержки передачи ячейки. Сервис CBR предназначен специально для передачи голоса и видео в реальном времени.
- UBR (Unspecified Bit Rate) — данные с неопределенной битовой скоростью, не определяют ни битовую скорость, ни параметры трафика, ни качество сервиса. Сервис UBR занимается доставкой "по возможности", без гарантий по времени и задержки. Сервис UBR - это решение для эластичного трафика, не критичного к реальному времени и полосе пропускания. Этот класс сервиса обычно устанавливается по умолчанию.
- VBR (Variable Bit Rate) — данные с переменной битовой скоростью. По сравнению с сервисом CBR, для VBR применяется сложная процедура заказа соединения между сетью и приложением. В дополнение к пиковой скорости VBR определяет длительно поддерживаемую скорость (среднюю скорость ячеек в секунду) SCR (Sustained Cell Rate), которая представляет собой среднюю гарантированную скорость передачи данных. Канал может превышать скорость SCR вплоть до величины PCR, но только на определенное количество ячеек MBS (Maximum Burst Size), которое может быть передано со скоростью большей чем SCR, но меньшей чем PCR. VBR будет использовать среднее значение SCR для управления трафиком, снижая его интенсивность на соответствующие периоды времени. Как и в случае CBR, пользователи VBR получают гарантированное обслуживание в отношении потерь ячеек, изменения задержек передачи ячеек и доступной полосы пропускания до тех пор, пока трафик удовлетворяет определенным при соединении требованиям QoS.

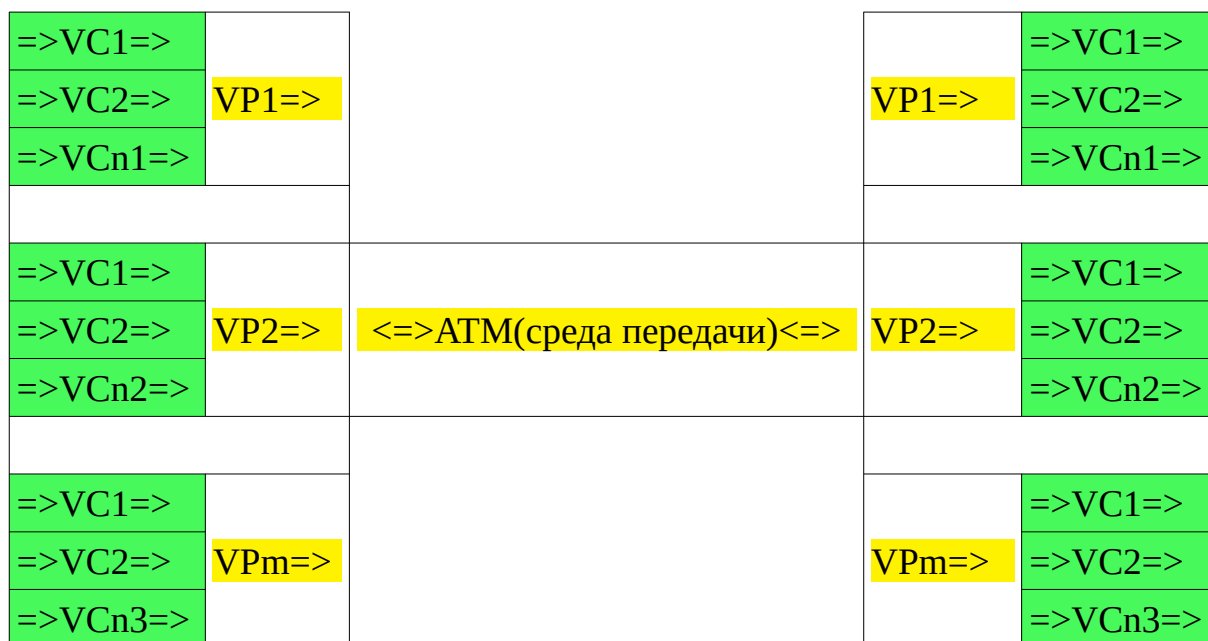
Процедура сегментации/сращивания сокращенно называется SAR.

Полученные и озаглавленные после сегментации ячейки методом асинхронного мультиплексирования (по мере поступления ячеек) поступают в каналы АТМ для передачи.

**2.=>** в сети АТМ виртуальное соединение определяется виртуальным каналом VC — Virtual Channel и виртуальным путем VP — Virtual Path. Виртуальные каналы входят VC в состав виртуальных путей VP и выполняют передачу разнородного трафика в канале(ах) АТМ. Адресное поле каждой ячейки образуют два поля:

VPI - Virtual Path Identifier — идентификатор виртуального пути;

VCI - Virtual Channel Identifier — идентификатор виртуального канала.



VPI и VCI для заданного потока ячеек являются постоянными. В процессе передачи потока возможна коммутация, как на уровне VP, так и на уровне VC. VPI и VCI могут принимать зарезервированные значения для передачи служебной информации.

Стандарты АТМ Forum предусматривают деление трафика на пять классов:

- Трафик, передаваемый с постоянной скоростью - CBR;
- Трафик, передаваемый в реальном времени с переменной скоростью — Real-Time VBR или rt-VBR;
- Трафик, передаваемый не в реальном времени с переменной скоростью — Non-Real-Time VBR или nrt-VBR;
- Трафик, передаваемый с неопределенной скоростью - UBR;
- Трафик, передаваемый с максимально доступной скоростью — ABR- Available Bit Rate.

По версии ITU-T для разных категорий трафика применяют разный уровень приложений АТМ — уровень AAL — см. таблицу 3.

Трафик ADSL принято относить к классу С с применением процедур уровня AAL5.

В ADSL применяются встроенные в АТМ процедуры контроля на специальных служебных ячейках ОАМ — Operating And Maintenance — обслуживание и управление. Стандарты ITU-T определяют пять потоков передачи ячеек ОАМ, определяющих неисправности — потоки F1, F2, F3 — физический



уровень регенераторной секции, мультиплексорной секции и маршрута высокого уровня соответственно и полностью аналогичны технологии SDH; поток F4 — неисправность виртуального пути VP; поток F5 - неисправность виртуального канала VC. Ячейки потока F4 и F5 выполняют функцию мониторинга качества в обоих направлениях на уровнях VP и VC соответственно и позволяют контролировать соединение. Потеря ячейки OAM воспринимается оборудованием АТМ как сигнал LOC — Loss of Continuity — потеря связности виртуального канала и при приеме LOC генерирует AIS(RDI) — неисправность в прямом(обратном) направлении.

Таблица 3. Классы АТМ и уровни ААL.

Тип трафика	Речь — класс А	Видео — класс В	Данные — класс С (Frame Relay)	Трафик LAN — класс D
Синхронизация	Требуется		Не требуется	
Скорость	Постоянная	Переменная		
Соединение	Ориентировано на установку соединения			Без соединения
Тип ААL	ААL1	ААL2	ААL5	ААL3/4

Типовые значения в полях установок уровня АТМ для ADSL следующие:

- номер VPI(8)/VCI(35);
- тип нагрузки QoS (UBR);
- параметры трафика по MEF: PCR, SCR и MBS.

Далее сформированный АТМ-поток данных кодируется помехоустойчивым кодом Рида-Соломона с прямым исправлением ошибок FEC-Forward Error Correction и поступает на линейный передатчик, работающий по DMT алгоритму. Кроме кодирования, для уменьшения вероятности возникновения последовательных групповых ошибок используется процедура перемежения — режим Interleaving, который возможно отключить — режим Fast .

Вначале на этапе проверки качества линии передатчик, после измерения уровня помех в частотном диапазоне участка, для каждого из каналов выбирает уровень QAM схемы модуляции. Для чистых каналов с низким уровнем шумов используются алгоритмы с большим уровнем QAM, например, QAM 64, и при этом на более зашумленных участках применяются простые алгоритмы модуляции, например QPSK. Это позволяет наиболее точно согласовывать параметры модулированного сигнала с параметрами линии, по которой он будет передаваться применяя принцип регулирования скорости передачи данных. При такой передаче данные распределяются между отдельными независимыми каналами пропорционально их пропускной способности, приемник выполняет операцию демультимплексирования и восстанавливает исходный поток данных. Алгоритм модуляции DMT считается громоздким и недостаточно технологичным из-за сложности аппаратной реализации среди всех алгоритмов, которые в настоящее время используются для формирования линейного кода устройств DSL.

#### *Процесс установления соединения*

В момент подключения к линии ADSL-модема DSLAM выполняет последовательно процедуру активизации соединения в четыре этапа:

- предварительный обмен данными — Handshaking;
- диагностику соединения — Training;
- диагностику каналов обмена данными;
- установление режима обмена данными — обычный рабочий режим.

На первом этапе Handshaking DSLAM использует обычную DPSK-модуляцию — дифференциальную фазовую и это позволяет выполнять максимально устойчивый обмен данными на физическом уровне. Эта стадия устанавливает принципиальную совместимость устройств и оба устройства определяют совместимый режим обмена данными.

На этапе диагностики соединения Training выполняется настройка модема и DSLAMа к конкретной линии:

- измеряется мощность сигнала вверх и настраивается уровень мощности DSLAMа вниз;
- настраиваются режимы управления генерации сигнала AGC-Automatic gain control;
- настраиваются режимы эхокомпенсации;
- настраиваются параметры фильтров — эквалайзеров.

На этапе диагностики каналов обмена данными тестируются параметры линии, определяется SNR-отношение сигнал/шум на каждой несущей и для неё устанавливается приемлемый уровень модуляции QAM (4, 16, 32, 64, 128, 256) с проверкой возможности передачи. Это выполняется в цикле для всех несущих с использованием OAM ячеек. Таким образом DSLAM и модем договариваются о максимальной скорости передачи данных вверх и вниз.

Далее оба устройства завершают процедуру активизации и включают рабочий режим обмена данными.

Похожий на алгоритм DMT модуляционный алгоритм OFDM - orthogonal frequency division multiplexing является его упрощенным вариантом, который использует единый уровень QAM-модуляции для всех частотных подканалов (несущих, поднесущих, бинов), то есть единое значение спектральной эффективности полосы пропускания.

## *Передача данных по коаксиальному кабелю — технология DOCSIS.*

Data Over Cable Service Interface Specifications (DOCSIS) — стандарт передачи данных по коаксиальному телевизионному кабелю.

Он позволяет осуществлять передачу данных абоненту по сети кабельного телевидения с максимальной скоростью до 42 Мбит/с (55,6 МГц для EuroDOCSIS) при ширине полосы пропускания 6 МГц (8 МГц для EuroDOCSIS) в свободном канале прямого направления и использовании многопозиционной амплитудной модуляции 256-QAM, и получение данных от абонента со скоростью до 10,24 Мбит/с в свободном канале обратного направления и использовании модуляции 64-QAM.

Каналы обратного направления — от абонента — формируются в диапазоне частот 5...42/65 МГц.

Каналы прямого направления — к абоненту — формируются в диапазоне частот 54...1002 МГц.

В отличие от других проводных технологий (DVB-RCC, ADSL), использующих ATM Cell transport, DOCSIS работает с нефиксированной длиной пакета и прямой поддержкой IP-протокола.

Для модуляции частоты используется QAM с одной несущей (SC-QAM) и символы передаются на этой частоте строго последовательно. При возникновении проблем с приёмом сигнала уровень модуляции необходимо понижать, причем не только для этой частоты, но и для всех остальных каналов в сети. То есть модуляция должна быть оптимизирована под самую худшую часть коаксиальной сети.

Все абоненты подключенные к сети разделяют ресурсы одного канала в прямом и обратном направлении. Так работают версии DOCSIS 1.X-2.0.

Версия DOCSIS 3.0 имеет 2 релиза — начальный 0 — использует в прямом и обратном канале 4 свободных канала одновременно и это поднимает скорость передачи прямой/обратный — 171.52/122.88 Мбит/с и релиз 1 — 8/4 канала — скорость — 343.04/122.88 Мбит/с. При передаче применяется предварительное кодирование данных кодом Рида-Соломона с прямой коррекцией ошибок (FEC).

Версия DOCSIS 3.1 для передачи данных использует технологию OFDM с шириной полосы от 24 до 192 МГц внутри которой можно разместить до 8 тысяч поднесущих с шириной полосы 25 или 50 кГц каждая, т. е. 7680 поднесущих 25 кГц или 3840 поднесущих 50 кГц. При передаче применяется предварительное кодирование данных кодом с малой плотностью проверок на чётность (low density parity check — LDPC).

Преимущество OFDM заключается в том, что символы передаются одновременно на разных частотах. Это создаёт возможность исключить поднесущую, если на этой поднесущей возникли помехи и увеличить уровень модуляции на соседней за счет объединения соседних частот, что в свою очередь позволяет продолжить передачу данных с оптимальным уровнем производительности.

Тип модуляции в OFDM задаётся на период времени между проверками ошибок, поэтому данная технология позволяет контролировать взаимное соотношение фаз поднесущих. Если одна поднесущая находится на пике, то соседняя может быть настроена в противофазе, т.е. в нуле. Это уменьшает интерференцию между соседними поднесущими и позволяет использовать для них более высокие уровни модуляции и, соответственно, повысить общую пропускную способность сети. Вместо того, чтобы использовать один уровень модуляции для

всего диапазона, OFDM позволяет использовать различные уровни модуляции для каждой поднесущей.

В DOCSIS 3.1 используются 4 (А - QAM-16 и QAM-64, В - QAM-1024, С - QAM-2048, D - QAM-4096) модуляционных профиля таким образом, чтобы задавать индивидуальные уровни модуляции для всех поднесущих и иметь максимальную производительность и низкий уровень ошибок. Кроме этого в начале сессий используется загрузочный профиль уровня PLC – PHY link channel, при котором используется только BPSK или 16 QAM, это позволяет добиться отсутствия некорректируемых ошибок кодовых слов (uncorrectable codeword errors — CWE), измерить параметры уровней мощности и MER. Если в рабочих профилях начиная с А появляются некорректируемые ошибки, то модем перейдет в режим DCOSIS 3.0 и не будет никакого увеличения эффективности. Профиль А может работать и на более высоких уровнях модуляции, при этом допускаются корректируемые ошибки CWE, это нормально, главное, чтобы не было некорректируемых.

В итоге DOCSIS 3.1 реализует скорости до 10ГБит/с-Downstream (в диапазоне 500-1794МГц, на 200 экв.каналах ТВ) и 2ГБит/с-Upstream (в диапазоне 5-400МГц, на 60 экв.каналах ТВ). В более старом релизе 7/1ГБит/с.

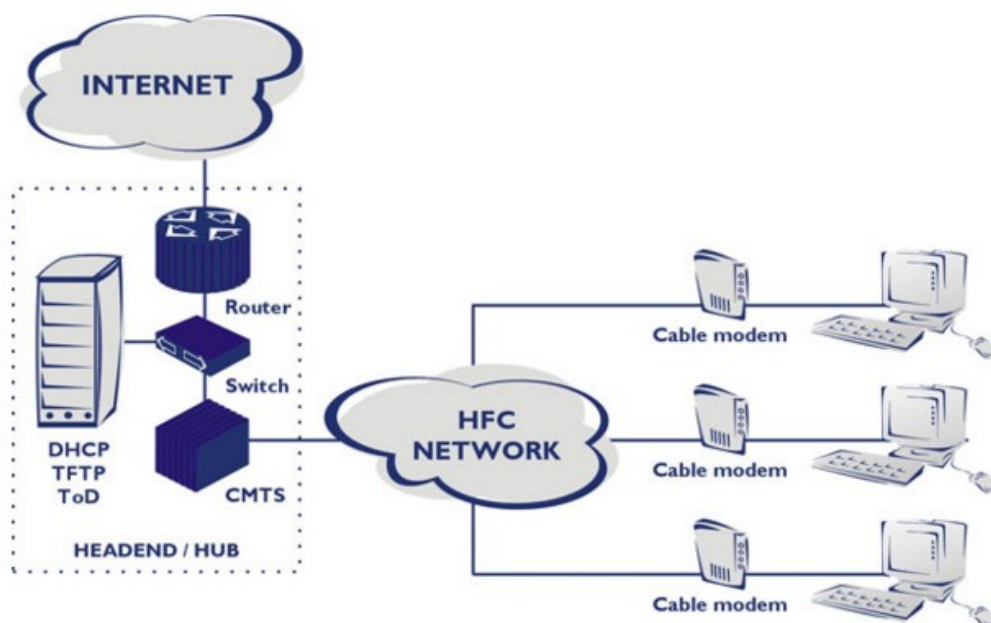


Рис. 4. Обобщенная схема работы технологии DOCSIS.

### 3. Выделенные линии. Способы формирования сигналов.

Рассмотрим это подробнее с точки зрения использования вариантов модуляции сигнала и кодирования. Цифровой сигнал, прежде чем попасть в линию, подвергается кодированию и преобразованию в аналоговый сигнал. Пропускная способность линий  $V$  (бит/с), в соответствии с теоремой Шеннона, зависит от ширины полосы пропускания  $F$  (Гц) и допустимого соотношения сигнал/шум  $S/N$  (Дб):  $V = F \cdot \log_2(1 + S/N)$ .

В отличие от телефонии, на линиях верхняя граница полосы пропускания не ограничена, однако на частотах свыше 1,5—2 МГц затухание сигнала крайне велико (следовательно, отношение сигнал/шум очень мало). Но с другой стороны, в области

высоких частот шумов не много. Таким образом, скорость передачи в медной паре ограничена только затуханием сигнала и зашумленностью линии.

Наиболее простой способ передачи данных – импульсно-кодовая модуляция (ИКМ, РСМ). Именно его разновидности применены в трактах Т1 и Е1. При этом каждый бит представлен отдельным импульсом – положительным или отрицательным. Прием/передача происходят по отдельным симплексным парам. Следовательно, для обмена данными со скоростью 2048 Кбит/с необходима тактовая частота свыше 2 МГц. Причем помехи в какой-либо локальной, пусть даже узкой, области спектра вызывают потерю данных. И в дополнение, неизбежно мощный сигнал – это источник помех для всех близлежащих высокоскоростных линий (из-за паразитной емкости между ними).

В скоростных модемах ИКМ не приемлема, там используют квадратурно-амплитудную модуляцию (QAM, Quadrature Amplitude Modulation), по сути являющуюся амплитудно-фазовой модуляцией. На рис. 5а показан принцип кодирования сигнала в простейшем варианте – 4QAM.

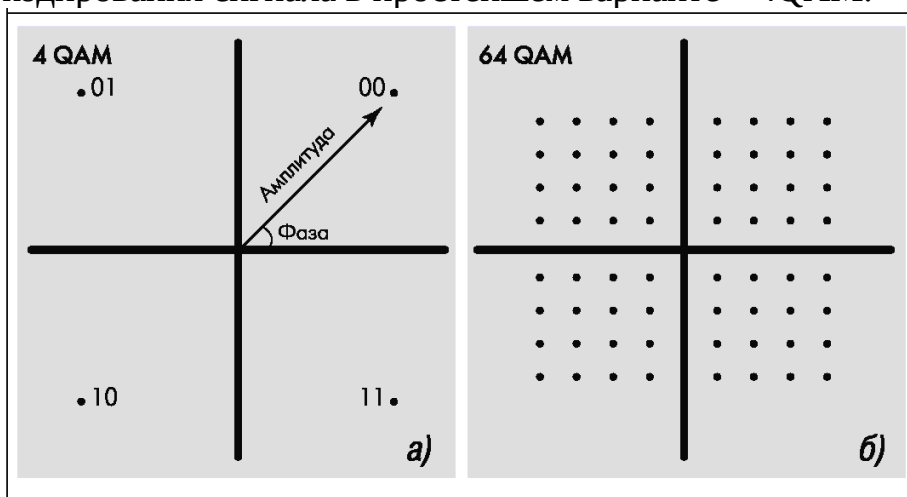


Рис. 5. Пример модуляции 4QAM и 64QAM.

Радиус-вектор соответствует амплитуде, угол – фазе. Каждое положение вектора задает определенный информационный символ. В примере на рис. 5а в каждом из четырех символов два бита. Скорость передачи символов измеряется в бодах (число символов в секунду) и не может превышать частоту несущей. Очевидно, что чем больше бит в символе, тем вероятнее использовать более низкую частоту несущей для той же скорости и уже спектральная область (рис. 5б). В технологии HDSL, так же как и в ISDN, сначала использовали модуляцию 2B1Q (2 Binary 1 Quaternary) вариант QAM с двумя битами в одном “четверичном” символе. Сравнение спектральных характеристик канала Т1 с линейным кодом АМІ (один бит на символ) и HDSL с той же скоростью обмена (2048 Кбит/с) показывает существенно большую эффективность 2B1Q (рис. 3).

Однако в ряде случаев, на очень многих российских линиях, спектральной эффективности 2B1Q недостаточно. Дальнейшим развитием QAM явилась амплитудно-фазовая модуляция с удалением несущей CAP (Carrierless Amplitude Phase modulation). Принципиальное отличие CAP от QAM – в способе получения выходного аналогового сигнала. Если в QAM применяют аналоговые смесители двух опорных сигналов (синусоидального и косинусоидального), то выходной сигнал CAP вычисляется чисто цифровым способом, а затем преобразуется цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) и передается в линию. CAP-модуляция похожа

на QAM: они имеют одинаковые формы спектра. При использовании метода CAP, модуляция в подканалах осуществляется путем применения двух цифровых трансверсальных полосовых фильтров, импульсные характеристики которых представляют пару Гильберта (одинаковые амплитуды, при фазах отличающихся на  $(\pi/2)$ ). Реализовать такую цифровую обработку в ИС легче и дешевле, чем аналоговую. Спектр сигналов многоуровневой CAP – например CAP64 и CAP128 (6 и 7 битов в символе соответственно) – позволяет добиваться весьма узкой спектральной полосы (рис. 3), поэтому данный вид модуляции активно используется в DSL-технологиях.

Именно спектральными особенностями линейного сигнала объясняются основные преимущества оборудования, использующего модуляцию CAP:

- повышение дальности работы, обусловленное тем, что более низкочастотный (по сравнению с 2B1Q) сигнал меньше ослабляется кабельной линией;
- отсутствие в спектре высокочастотных составляющих обеспечивает нечувствительность к высокочастотным и импульсным шумам, радиоинтерференции, значительно снижает перекрестные наводки;
- отсутствие взаимовлияния в низкочастотной части спектра, традиционно используемой для аналоговой передачи телефонных разговоров и сигнализации, минимальный уровень создаваемых помех и наводок на соседние пары, в спектре нет составляющих ниже 4 кГц, совместимость с аппаратурой уплотнения, работающей по соседним парам;
- нечувствительность к низкочастотным наводкам от силовых установок (наземный электротранспорт, метро, железнодорожный транспорт и др.) и электрических сетей;
- высокая помехоустойчивость и нечувствительность к групповому времени задержки в следствии отсутствия в спектре высокочастотных (свыше 260 кГц) и низкочастотных (ниже 40) составляющих и общей шириной спектра группового сигнала около 200 кГц.

Все эти преимущества CAP проявляются в полностью исправных кабелях, но если в кабеле есть земля или разнопарка, даже в нерабочей паре отношение сигнал/шум на линии значительно ухудшается, начинают проявляться антенные и трансформаторные эффекты и скорость на линии может значительно снизиться или связь между модемами оборваться вообще.

Рассматривая симметричные технологии HDSL и SDSL с точки зрения одновременного использования АЛ и для традиционной телефонии можно сказать, что некоторые типы модемов и технологий это допускают, даже без использования сплиттеров, но по опыту работы сбои в таких линиях наблюдаются чаще.

Для организации защищенных сертифицированных каналов на выделенных линиях на сетях операторов используется оборудование работающее по протоколу X.25. В качестве физической среды передачи данных используется синхронный канал ПД любого типа — организация синхронной дуплексной передачи ITU V.24/EIA RS-232, X.21bis или X.20.bis. На канальном уровне обеспечивается передача кадров между X.25 DTE (терминальное устройство) и X.25 DCE (сетевое устройство) и следующие функции:

- организация канала для логических соединений между DTE и DCE;

- контроль ошибок при передаче кадров;
- управление потоком данных;
- разрыв соединения.

Работа канального уровня базируется на протоколе HDLC (High Level Data Link Control).

На пакетном уровне выполняется организация соединений, передача данных пакетами X.25, разрыв соединений, восстановление соединений (рестарт).

Структура пакета X.25:

**Заголовок кадра — Информационное поле — Завершение кадра**

Информационное поле состоит:

**GFI — LGN(4 бита) — LCN(8бит) — Packet X.25 type ID — User Data**

где,

GFI — общий идентификатор формата;

LGN(4 бита) — номер группы логического канала — до 16 групп;

LCN(8бит) — номер логического канала — до 255 номеров;

Packet X.25 type ID — тип пакета (запрос соед., запрос разрыва, подтв., сброс...);

User Data — поле данных.

Каждый логический канал может принимать и инициировать вызовы. Каналы управляются пользователем.

#### **4. Наложённые услуги. Проблемы и решения в проводных сетях.**

Как упоминалось ранее, особенно привлекательными для оператора являются те технологии, в которых можно не отказываясь от уже используемых услуг, на тех же АЛ, по существу в той же сети доступа, предоставлять и новые виды доступа и услуги на их основе. На использовании такого принципа появилось и закрепилось понятие наложенной услуги и наложенной сети.

В 1987 году профессор Стэнфордского университета Джон М.Сиоффи (John M. Cioffi) разработал новый вид линейного кодирования – дискретную многотоновую модуляцию DMT (Discret Multi-Tone), метод передачи на основе многих несущих. В 1992 году он основал компанию Amati Corp. (сейчас – в составе Texas Instruments) и выпустил первые ADSL-модемы на основе DMT–Prelude. Вскоре за Прелюдией последовала Увертюра (Overture) – новое семейство ADSL-модемов. DMT оказалась столь удачна, что стала международным стандартом. Весь спектральный диапазон разбивается на субканалы (обычно 256) шириной по 4 кГц (рис. 1 и 2). В каждом из субканалов выполняется QAM-модуляция несущей (центральная частота субканала) со скоростью до 15 бит/символ/Гц. Это можно представить как одновременную работу 256 аналоговых модемов с максимальной производительностью 60 Кбит/с каждый. Следовательно, теоретически возможная скорость обмена с использованием DMT – около 15 Мбит/с. Естественно, в реальной работе используется только часть несущих, и скорость данных в каждом субканале может опускаться до 4 бит/символ/Гц и ниже.

DMT оказалась столь удачной, что фактически стала стандартом для асимметричных DSL, вытеснив претендовавшую на эту роль CAP. Прежде всего,

она допускает очень гибкое и динамичное частотное планирование, позволяя избежать зашумленные участки, область телефонии и т.д.

DMT – это “высокоинтеллектуальная” технология. Модем способен определить уровень шума в каждом субканале и задать оптимальное число битов в символе для каждой несущей (рис. 2). Кроме того, при равной скорости время передачи отдельного символа в DMT во много раз (до 250) больше, чем в CAP. Следовательно, короткие широкополосные импульсные помехи менее опасны для сигнала DMT, чем для сигналов CAP (рис. 3). Что еще существеннее, DMT позволяет очень гибко и плавно – с шагом 32 Кбит/с изменять скорость передачи, подстраиваясь под конкретную линию. Так же гибко меняется соотношение скоростей восходящего/нисходящего потоков. Явное достоинство модуляции CAP – меньшая энергоемкость - устройства с CAP могут питаться от линии). Это важно для приложений симметричной DSL, но не существенно для ADSL, поскольку все устройства находятся либо у оператора, либо у пользователя, где нет проблем с электропитанием. Немаловажно, что DMT-оборудование разных производителей, на основе различных комплектов ИС хорошо совместимо друг с другом, чего нельзя сказать про CAP. Победу DMT над CAP в ADSL-приложениях официально подтвердил Международный телекоммуникационный союз (ITU), придав ему статус международного стандарта – G.992.1.

Современные xDSL-модемы сконцентрировали все лучшее, что использовалось и в голосовом диапазоне (до 4 кГц) – методы сжатия данных, контроля и восстановления данных, тестирование линии и учет ее особенностей и т.д. Однако основную проблему – исключение взаимовлияния модемов при работе с линиями из одного кабеля – полностью решить не удалось.

Особое значение данная проблема приобретает в отношении устройств, использующих асимметричную технологию для организации симметричного канала. При этом на одном конце линии фактически оказываются два ADSL-модема, развернутых по отношению друг к другу. В результате не ослабленный линией сигнал одного модема может вызвать помехи в приемном тракте другого, поскольку спектральные области совпадают. Скорость обмена резко упадет у всех, кто работает в “стандартном” направлении в том же кабеле. Столь же нежелательный эффект могут дать и линии E1/T1 из-за очень широкого спектра.

Основную сложность установки ADSL-модема создавал сплиттер – устройство, представляющее собой набор высокочастотных и низкочастотных фильтров для спектрального разделения телефонной аппаратуры и ADSL-модема. Стоит такое устройство вместе с установкой порядка 100—200 долл. А без него работать на одной линии с телефоном модему сложно. Телефоны в момент набора, снятия/опускания трубки, звонка создают импульсные помехи в спектральной области ADSL (выше 25—40 кГц). Телефонная проводка играет роль антенны для радиовещательных станций, особенно если на конце линии нет никаких устройств (в телефонную розетку без фильтра не включен телефон). Кроме того, телефонная аппаратура изменяет физические параметры линии (импеданс), как в процессе работы, так и просто при подключении дополнительного телефона. Вот зачем нужно устройство для надежного отделения телефонного тракта (до 4 кГц) от высокочастотного модема.

Однако современные технологии, прежде всего цифровые сигнальные процессоры (DSP), позволяют в процессе работы анализировать состояние линии и



оперативно подстраиваться под него. Хорошо работают основные достоинства DMT. Появилась возможность избавиться от сплиттера. В результате родился стандарт G.Lite (облегченный ADSL), не требовавший сплиттера, со скоростями нисходящего потока до 1,5 Мбит/с и восходящего – до 512 Кбит/с. Летом 1999 года он был утвержден ITU как G.992.2. Стоимость устройств G.Lite значительно дешевле и приближается к стоимости аналоговых модемов. Однако опыт их эксплуатации выявил ряд проблем. Прежде всего, сказывается отсутствие сплиттера. При изменении параметров линии модему требуется время на адаптацию, а в ряде приложений, например при передаче голоса – Voice Over ADSL, это недопустимо. Но нашлось достаточно простое решение – использовать НЧ-микрофильтр на каждом телефонном устройстве, например фильтр Чебышева второго порядка. Стоимость таких фильтров – мала, установка не вызывает проблем, а эффект весьма ощутим. Хотя скорость обмена снизилась, остались проблемы спектральной совместимости нескольких линий G.Lite в одном кабеле. Но несмотря ни на что, новый стандарт поддержан основными производителями оборудования и комплектов ИС.

### *Наложение услуг на реальных сетях операторов.*

На кроссах АТС установлены рамки, к которым подведены линии от АТС и DSLAM. Через стационарный сплиттер стандарта «Annex A» линии объединяются и подаются в магистраль. В случае выделенной линии порт АТС в данной схеме отсутствует. Со стороны абонента установлен сплиттер такого же стандарта, что и на АТС, который делит входящий сигнал на две составляющие: низкочастотную (телефон) и высокочастотную (интернет).

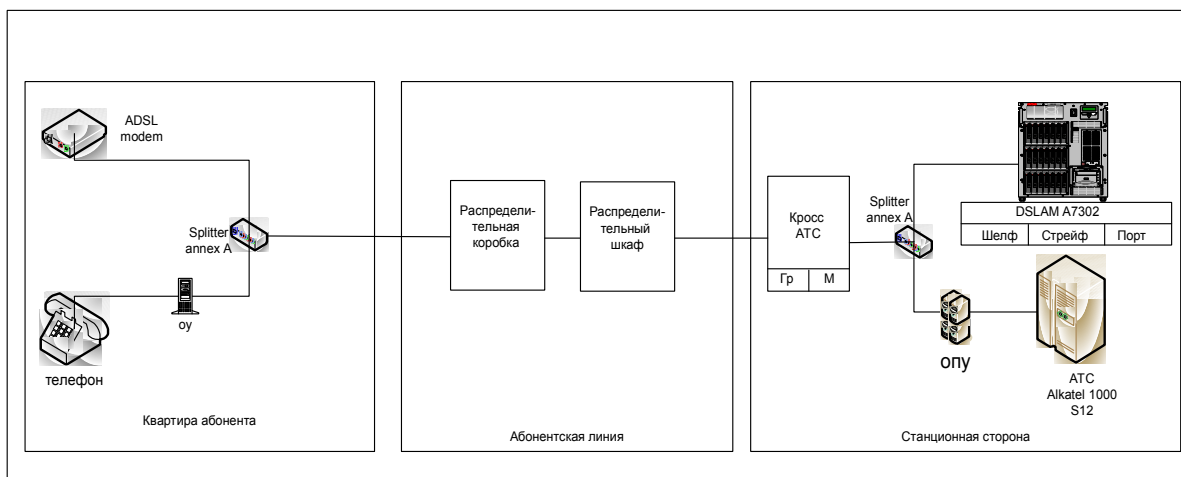


Рис. 6. Подключение услуг к АЛ с использованием ADSL-модемов.

### *Параметрические требования к АЛ для использования DSL-технологий.*

Абонентская телефонная линия, при использовании её для технологий DSL, должна обладать следующими параметрами:

#### **Первичные параметры:**

Сопротивление шлейфа — не более 1000 Ом (определяется длиной линии),

Сопротивление изоляции — не менее 40 МОм,

Ёмкость шлейфа — не более 300 нФ,

Ёмкостная асимметрия — не более 10 нФ, или не более 5 %.

### **Вторичные параметры:**

Затухание сигнала (Line Attenuation):

до 20 dB — отличная линия;

от 20 dB до 40 dB — рабочая линия;

от 40 dB до 50 dB — возможны сбои;

от 50 dB до 60 dB — периодически пропадает синхронизация;

от 60 dB и выше — оборудование работать не будет.

Уровень шума:

от -65 dB до -50 dB — линия отличная;

от -51 dB до -35 dB — хорошая линия;

от -36 dB до -20 dB — работа с периодическими сбоями;

от -19 dB и ниже — работа оборудования невозможна.

SN Margin (AKA Signal или Noise Margin или Signal-to-Noise Ratio(SNR)):

до 6 dB — плохая линия, присутствуют проблемы синхронизации;

от 7 dB до 10 dB — возможны сбои;

от 11 dB до 20 dB — хорошая линия, без проблем с синхронизацией;

от 20 dB до 28 dB — очень хорошая линия;

от 29 dB — отличная линия.

### *Конструкционные требования кабелей проводных сетей:*

Кабели на основе витой пары по рабочей частоте делятся на следующие категории.

– К категории 1 относят обычные не витые телефонные кабели. По ним можно передавать только речь.

– Кабель категории 2 позволяет передавать данные в полосе частот до 1МГц (используется редко).

– Кабель категории 3 используется для передачи данных в полосе частот до 16МГц. Он состоит из витых пар с девятью витками проводов на 1м длины.

– Кабель категории 4 передает данные в полосе частот до 20МГц. Используется редко, т.к. не слишком отличается от категории 3.

– Кабель категории 5 в настоящее время самый применяемый кабель, рассчитанный на передачу данных в полосе частот до 100МГц. Состоит из витых пар, имеющих не менее 27-ми витков на 1м длины.

– Кабель категории 6 — перспективный тип кабеля для передачи данных в полосе частот до 200 (или 250)МГц.

Повив проводников был изобретен Грэхемом Беллом в 1881 году, именно он впервые применил эту технику к телефонным проводам, пролегающим вдоль линий электропередач и обнаружил, что при свитых проводниках линии через каждые 3-4 столба, значительно уменьшаются помехи и дальность передачи сигнала возрастает.

Витая пара стала основой для всех проводных кабелей, в том числе и Ethernet-кабелей. Это позволило сократить влияние внутренних перекрестных помех и перекрестных наводок от внешних источников.

Рассмотрим самые применяемые кабели для Ethernet сетей.

Два главных физических различия между кабелями Cat-5 и Cat-6 – это количество витков витой пары на единицу длины и толщина оплетки.

Длина витка по показателям не стандартизирована, но обычно у категории Cat-5(e) 1.5-2 витка на сантиметр, а у категории Cat-6 количество витков больше 2.

Внутри одного кабеля, каждая цветная пара обладает различной длиной витка, основанной на простых числах. Длины витков подобраны таким образом, чтобы два различных витка никогда не совпадали. Количество витков на каждую цветную пару обычно уникально для каждого производителя. Как можно видеть на рисунке, на 1 дюйм у каждой цветной пары приходится разное количество витков.

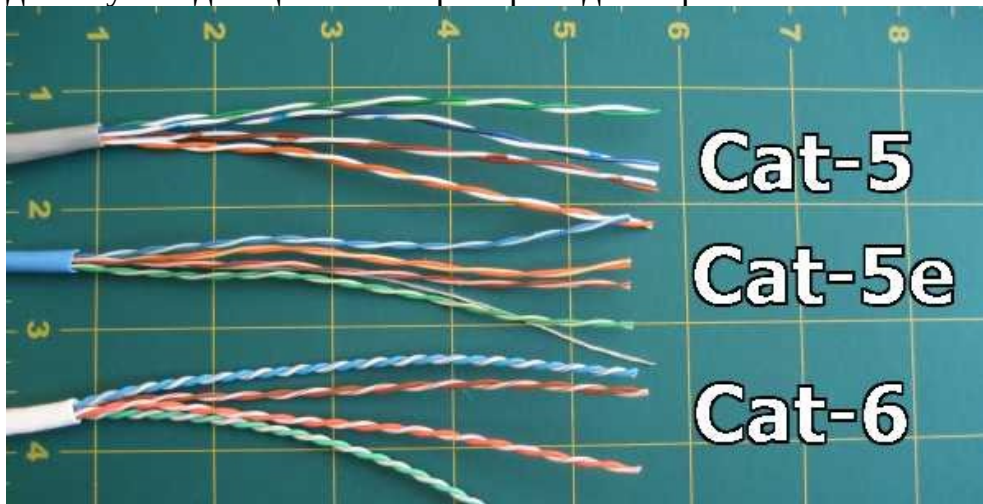


Рис. 7. Примеры разделанных Ethernet-кабелей.

Значительно лучше в условиях помех работают экранированные кабели. При этом обязательным условием является правильное заземление экрана или его присоединение к корпусу (общей шине или проводнику). Неисполнение этого требования может не дать эффекта экранирования, а в некоторых случаях даже ухудшить ситуацию — увеличив уровень помех в линии.



Рис. 8. Примеры кабелей UTP (не экранированный) и STP (экранированный).

Для DSL линии рекомендуется к использованию витая пара не ниже 3 категории.

Перед развертыванием цифровых систем необходимо проверить используемую линию на наличие потенциальных проблем, таких как:

- кабельные отводы, которые практически не влияют на параметры обычной аналоговой телефонной связи, но их влияние проявляется в рабочих диапазонах

частот технологий xDSL. Поэтому число и длина кабельных отводов АЛ, используемых для работы оборудования xDSL, жёстко нормируются;

- пупиновские катушки, которые резко увеличивают затухание АЛ в диапазоне частот выше частоты 4 кГц., который является рабочим диапазоном частот линий xDSL. Поэтому на всех АЛ, используемых в качестве линий xDSL, пупиновские катушки должны быть удалены;

- непреднамеренное скрещивание проводов. Оно появляется, когда при сращивании строительных длин кабеля один из проводов одной пары соединяется с проводом соседней пары.

Также необходимо проверить «последнюю милю» на наличие старых муфт (при необходимости их пересобрать - обязательно по технологии врезного контакта), «надкушенных» проводов, либо проводов с поврежденной изоляцией, не допускается наличие скруток на кабеле, не допускается, чтобы на проводах были видимые повреждения, окисление проводов и т.д.

## **5. Услуги оповещения и циркулярного вызова. Прочие услуги проводных сетей.**

Ранее на САД ТфОП применялась аппаратура оповещения населения (сирены и громкоговорящая связь) и аппаратура циркулярного вызова (для подачи сигнала вызова абоненту ТфОП - по списку, в случаях экстренных или чрезвычайных ситуаций). Для этого использовались обычные АЛ. К таким линиям - обычно на линейную сторону кросса подавались сигналы от специально установленного в УД оборудования оповещения или циркулярного вызова — по принципу параллельного присоединения или дополнительного присоединения, так же как и устройства охраны работающие шлейфовым способом — то есть в самое начало линии, по принципу увеличения надежности, что за этим не должно быть никаких присоединений.

При использовании одной АЛ для подачи таких наложенных (группой) услуг необходимо учитывать использование линий для DSL технологий и присоединять услуги правильно. Присоединение устройств шлейфовой (включая устройства вч-шлейфов) охраны должно производиться до сплиттера, как и подача сигналов циркулярного вызова. Оборудование оповещения обычно работает по выделенным линиям.

Обычные АЛ используют и для присоединения абонентского телеграфного оборудования и подключения к сетям АТ (абонентского телеграфирования) и ТгОП (почтовые отделения, военкоматы, УВД, ВЧ и пр.) телеграфных модемов и аппаратов. Это также необходимо учитывать при эксплуатации сетей ПД на базе использования проводных сетей связи.

## Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»  
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович  
Раздел: **Разновидности технологий связи на сетях абонентского доступа и их применение.**  
Тема: **Абонентский доступ по ВОЛС.**

### Учебные вопросы:

1. Технологии НТТВ, устройство сетей и особенности оказания услуг.
2. Технологии PON, устройство сетей и особенности оказания услуг.
3. Доступ к услугам связи по выделенным ВОЛС, особенности.

### Литература:

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2012. – 943 с.
2. Электронный ресурс <https://www.scribd.com/document/18050061/36-40-GPON-GIGABIT-PON> - GPON: СТАНДАРТЫ GIGABIT PON ЭЯЛЬ ШРАГА (EYAL SHRAGA)
3. Электронный ресурс <https://tech4u.pro/articles/50-opisanie-juniper-src-pe>

Основу современных операторских сетей абонентского доступа составляют сети, базирующиеся на оптической среде передачи сигналов.

При этом на выходе индивидуального или группового оборудования узла доступа (УД) оптический передатчик (OLT) преобразует электрический сигнал с использованием заданного вида модуляции оптической несущей в оптический сигнал, который при распространении по оптическому волокну (ОВ) подвергается ослаблению и искажению. На приемной стороне у абонента оборудование (ONT) осуществляет обратное преобразование оптического сигнала в электрический. Для модуляции оптической несущей информационным сигналом возможно использование частотной, фазовой, амплитудной модуляции, модуляции по интенсивности — излучаемой мощности, поляризационной модуляции. В подавляющем большинстве случаев на сетях абонентского доступа применяется модуляция по интенсивности оптического излучения. Мгновенное значение электрического поля монохроматического оптического излучения записывается в виде:

$$E(t) = E_{MAX} \cos(\omega_0 t + \varphi_0),$$

где  $E_{MAX}$  — амплитуда поля;

$\omega_0$  и  $\varphi_0$  — соответственно частота и фаза оптической несущей.

Мгновенное значение мощности (интенсивности) будет:

$$P_{\text{мгнов}} = E^2(t) = E_{MAX}^2 \cos^2(\omega_0 t + \varphi_0),$$

а усреднение за период  $T_0 = \frac{2\pi}{\omega_0}$  позволяет выразить величину средней мощности

$P_{cp} = 0,5 E_{MAX}^2$ , которая собственно и изменяется в соответствии с модулирующим сигналом.

Такой вид модуляции по мощности объясняется тем, что его можно применять в широком диапазоне частот для использования в оптических передатчиках на сравнительно дешевых полупроводниковых излучателях (светодиодах, лазерных диодах) простыми техническими средствами. Для управления интенсивностью излучения полупроводникового излучателя достаточно изменять ток инжекции (накачки) в соответствии с модулирующим сигналом. Это легко реализуется на практике электронной схемой возбуждения в виде усилителя тока.

Модуляция по мощности оптического излучения приводит и к простым решениям обратного преобразования оптического сигнала в электрический сигнал. Фотодетектор, входящий в состав фотоприемника, является прибором, выходной ток которого прямо пропорционален квадрату амплитуды оптического поля, то есть мощности падающего на фоточувствительную поверхность оптического сигнала.

Рассмотренный принцип приема оптического сигнала относится к методу прямого фотодетектирования (иначе некогерентный или энергетический прием). Есть и другие, более сложные методы приема, относящиеся к методам фотосмещения (это когерентный, гетеродинный и гомодинный методы приема).

Рассмотрим общие подходы к основам построения таких сетей, изображенным на рисунке 1.

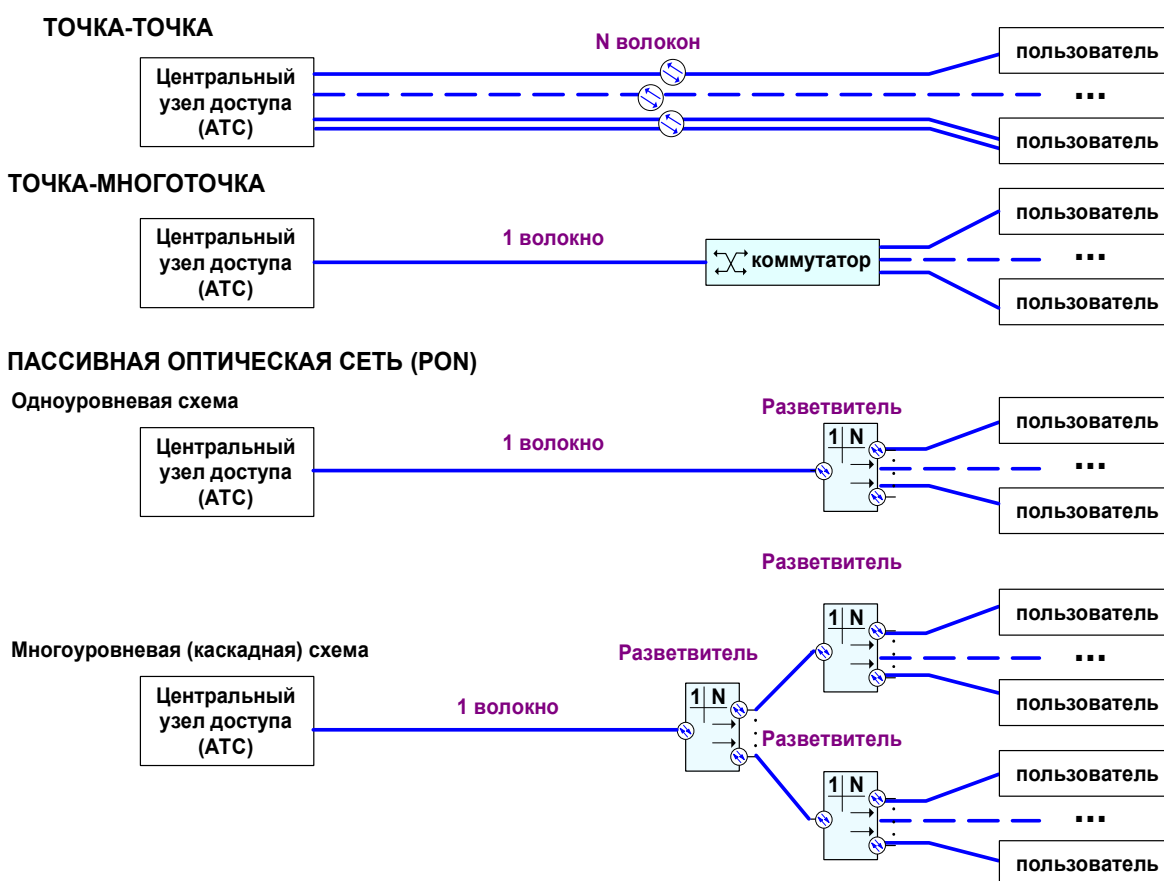


Рис. 1. Варианты организации доступа с использованием ВОЛС.

Сеть доступа может быть построена с использованием одной из основных топологий оптических сетей доступа:

- Точка-точка (P2P) — использование доступа к услугам связи — подключение оборудования абонента по выделенным волокнам (ОВ) оптического кабеля (ОК) связи;
- Точка-многоточка (P2MP) - организация варианта доступа к услугам связи по ОВ с использованием группового коммутатора — подключение оборудования абонента производится к абонентскому коммутатору по абонентским линиям типа последний дюйм (абонентская проводка), выполненным кабелем UTP (STP) или в случае большого расстояния оптическим кабелем (ОК) связи;
- Пассивная оптическая сеть (PON) с оптическими разветвителями, позволяющая привести ОВ в квартиру или офис абонента.

В дополнение к вариантам топологий применяется классификация сетей по видам архитектур — вариантов построения сетей доступа:

- FTTN (Fiber to the Node) – оптоволокно доходит до сетевого узла;
- FTTC (Fiber to the Curb) – оптоволокно доходит до микрорайона, квартала или группы домов;
- FTTB (Fiber to the Building) – оптоволокно достигает здания;
- FTTH (Fiber to the Home) – оптоволокно дотягивают до жилища, будь то квартира или отдельный коттедж.

Традиционно первые 2 вида архитектур используются для организации подключений узлов доступа, абонентских выносов, бизнес-центров и предприятий.

FTTB используется как основной вариант топологии точка-многоточка (P2MP).

FTTH есть не что иное, как PON.

### ***Технологии FTTB, устройство сетей и особенности оказания услуг.***

Предприятия-операторы связи на своих сетях доступа чаще всего используют следующую схему построения сети по технологии FTTB (Fiber To The Building — «Оптика в дом»): оптический кабель подводится к дому с подключением абонентского коммутатора, порты которого и распределяется по квартирам с помощью медного кабеля.

Сеть строится по принципам ЛВС на базе технологии Ethernet следующим способом: от портов маршрутизатора строится сеть агрегации доступа на коммутаторах сети агрегации доступа по звездной или кольцевой топологии, затем от порта коммутатора агрегации доступа строится сеть постагрегации доступа на коммутаторах постагрегации по звездной топологии, затем от порта коммутатора постагрегации доступа строится сеть доступа на коммутаторах доступа по звездной топологии и далее последний «дюйм» на витой паре до абонентского оборудования.

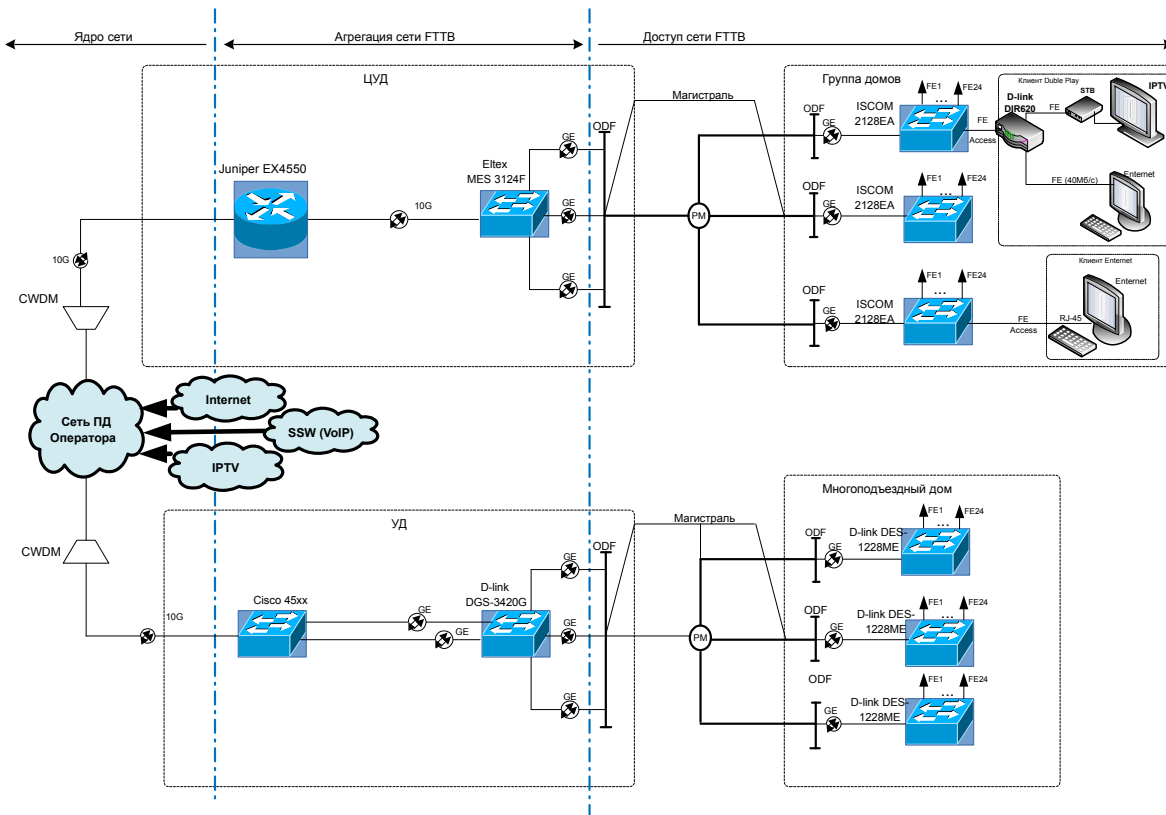


Рис. 2. Пример построения сети доступа на базе технологии FTTH.

В сетях доступа по технологии FTTH операторами в настоящее время оказывается ограниченный набор услуг, чаще Double Play – это концепция предоставления телекоммуникационных услуг:

- доступа к сети Интернет;
- интерактивного телевидения,

организуемых по единому подключению к гибридной HFC мультисервисной сети передачи данных.

Услуги телефонии на таких сетях обычно продолжают оказывать по традиционной схеме доступа к ТфОП, которая применялась ранее в этом муниципальном районе. Если же на УД имеется SMG или MGW, то возможно предоставление услуг Triple Play включая услугу VoIP.

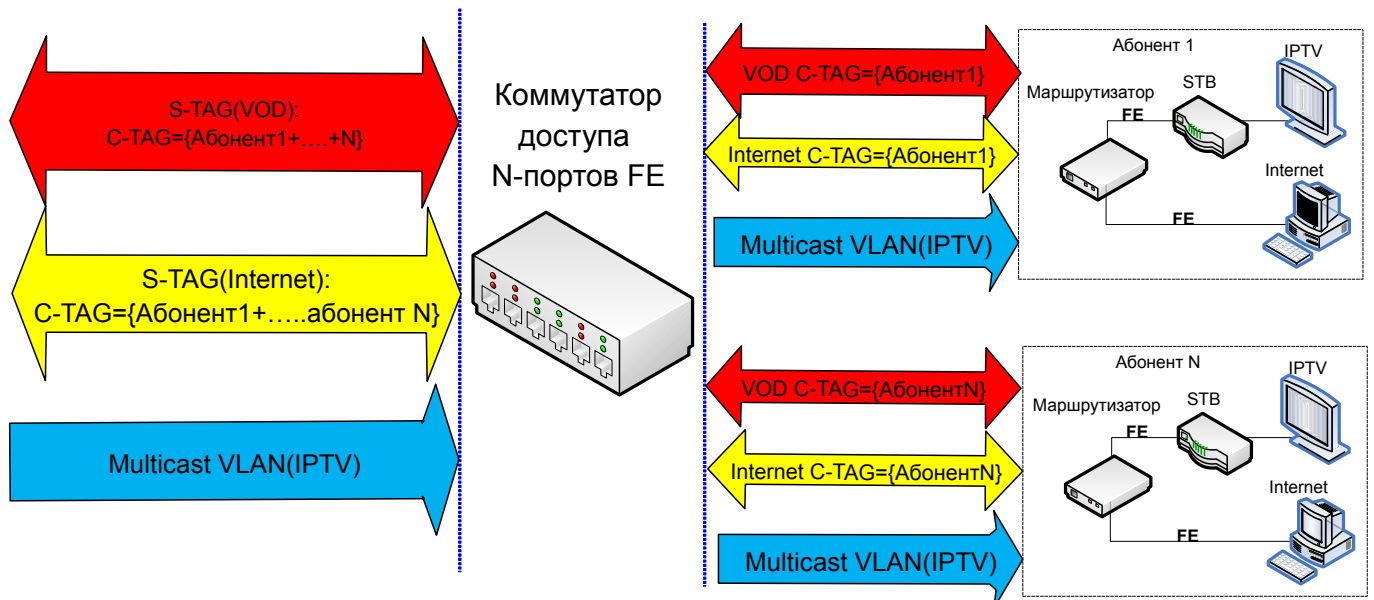


Рис. 3. Организация услуг Double Play в сетях доступа по технологии FTTH.



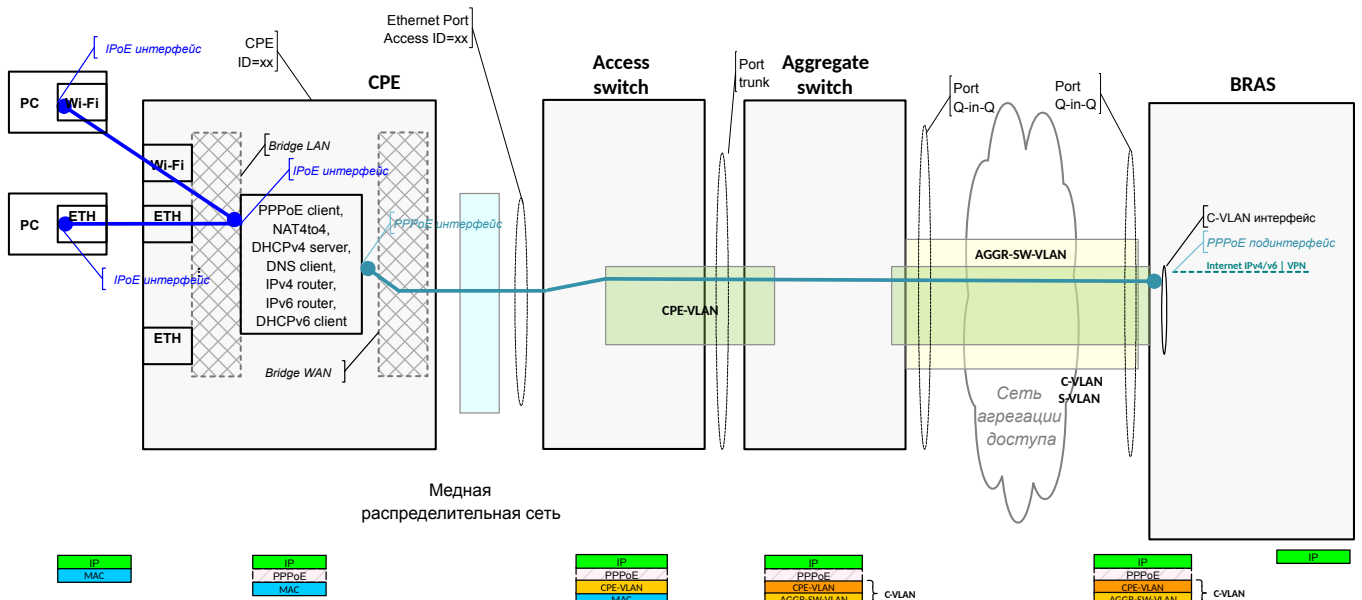


Рис. 4. Схема предоставления услуги широкополосного доступа в Интернет.

Сокращенные наименования на рисунках:

AGGR-SW – коммутатор агрегации,

ACCS-SW – коммутатор доступа,

CPE – абонентский маршрутизатор.

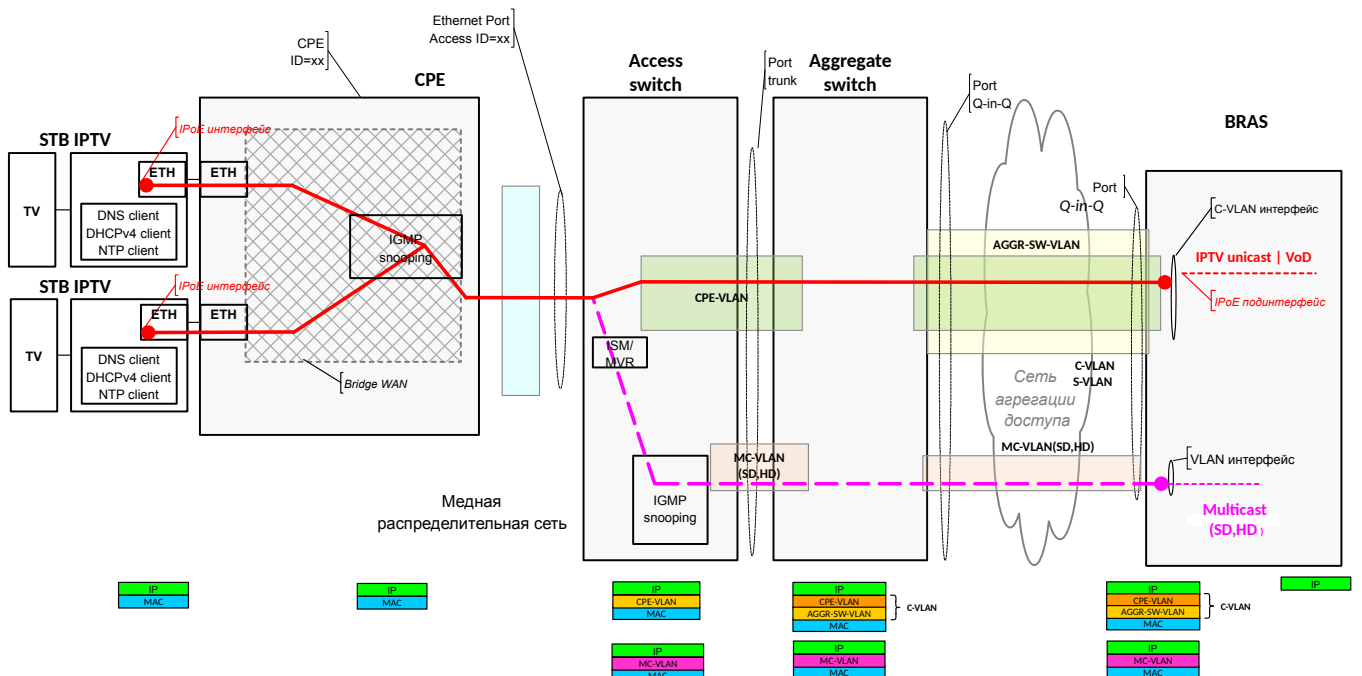


Рис. 5. Схема предоставления услуги IPTV.

Особенности настройки оборудования на сети доступа FTTB.

### Абонентский маршрутизатор

Абонентский маршрутизатор обеспечивает подключение пользовательского оборудования (компьютеров, планшетов, IPTV приставок) к сети проводным или беспроводным методом. Абонентский маршрутизатор отвечает за организацию подключения к сети интернет по протоколу PPPoE, маршрутизацию пользовательского трафика, трансляцию IP адресов и, при необходимости, фильтрацию трафика. На CPE маршрутизаторе у абонента настраивается PPPoE

клиент, включается поддержка трансляции адресов, пересылки DNS запросов. Для подключения клиентского оборудования настраивается один или несколько LAN портов и Wi-Fi точка доступа.

Для предоставления услуги IPTV на абонентском маршрутизаторе выделяются порты для подключения IPTV приставок. На указанных портах отключается функции маршрутизации трафика и включается L2 bridging напрямую в WAN интерфейс. Кроме этого, на этих же портах активируется функционал IGMP snooping. Если абоненту предоставляется только одна услуга интернет, установка абонентского маршрутизатора не обязательна. Предоставление услуги широкополосного доступа в интернет может выполняться и без CPE, тогда PPPoE сессия устанавливается непосредственно с компьютера абонента.

IPoE сессия инициируется STB, установленным у абонента, BRAS перенаправляет запрос на DHCP сервер, который авторизует STB и передает дополнительные опции, необходимые для подключения STB к платформе IPTV.

### **Коммутатор доступа**

Коммутатор доступа предназначен для непосредственного физического подключения абонентских компьютеров или CPE маршрутизаторов к сети. Место расположения коммутатора доступа выбирается с учетом того, чтобы длина кабельной трассы до помещения абонента не превышала 85м, оставшиеся 15м (максимальная длина Ethernet кабеля – 100м) предназначаются для организации кабельной трассы в помещении абонента.

Для идентификации пользователей и изоляции пользователей друг от друга используется модель «VLAN на абонента». Коммутатор доступа обеспечивает назначение на каждом порту подключения абонента отдельного VLAN-а. На коммутаторе доступа порт подключения абонента помещается в индивидуальный CPE-VLAN. CPE-VLAN уникален в рамках всех коммутаторов доступа, подключенных к одному коммутатору агрегации.

На коммутаторе доступа настраивается функционал IGMP snooping и MVR для предоставления услуг IPTV.

### **Коммутатор агрегации**

Коммутатор агрегации является промежуточным узлом между сетью агрегации доступа и коммутаторами доступа. К коммутатору агрегации подключается до нескольких десятков коммутаторов доступа.

Типовое подключение коммутаторов доступа к коммутатору агрегации организуется по оптическим линиям связи.

На каждом порту коммутатора агрегации разрешаются только те VLAN-ы, которые используются на соответствующем коммутаторе доступа.

Коммутатор агрегации добавляет внешний AGGR-SW-VLAN и отдает трафик через сеть агрегации доступа на BRAS.

На BRAS-е для каждого C-VLAN интерфейса (пары AGGR-SW-VLAN и CPE-VLAN) включается поддержка PPPoE.

PPPoE сессия инициируется на CPE абонента, прозрачно (с добавлением соответствующих VLAN-ов) передается до BRAS-а, где выполняется ее обработка.

BRAS взаимодействует с БД Radius и SAN (Juniper SRC-PE) для аутентификации и авторизации пользовательской сессии, назначает IP-адреса, выполняет ограничение скорости в рамках сессий и производит их учет.

## Технологии PON, устройство сетей и особенности оказания услуг.

Сеть абонентского доступа по технологии FTTH/PON строится исходя из ситуационного плана муниципального образования в зоне охвата узла доступа.

При проведении ситуационного планирования и построении сети используют следующие определения:

- Облако – здания на территории города, охваченные сетью PON от одного опорного узла.
- Кластер – элемент облака, состоящий из группы зданий, охватываемых одним связанным набором линейно-кабельных сооружений древовидной структуры с корнем на опорном узле. В состав кластера входят магистральная волоконно-оптическая сеть, представляющая собой совокупность волоконно-оптических кабелей, организованных по топологии “дерево” и ДРС (домовая распределительная сеть) сетей PON во всех зданиях кластера. Количество зданий, входящих в кластер определяется числом волокон корневого кабеля ВОЛС, идущего от опорного узла.
- Опорный узел – УД городской или муниципальной сети, на котором установлены коммутаторы агрегации/концентрации FTTH или PON (GPON).
- Корневой кабель ВОЛС – участок магистрального кабеля от оптического кросса УД, до первой разветвительной муфты в кабельной канализации. Количество волокон в корневом кабеле должно составлять 96 ОВ, в особых случаях, допускается применение кабеля с числом волокон до 144.
- Магистральные волокна – волокна магистральной ВОЛС от оптического кросса опорного узла до сплиттера ДРС (ОРЩ).

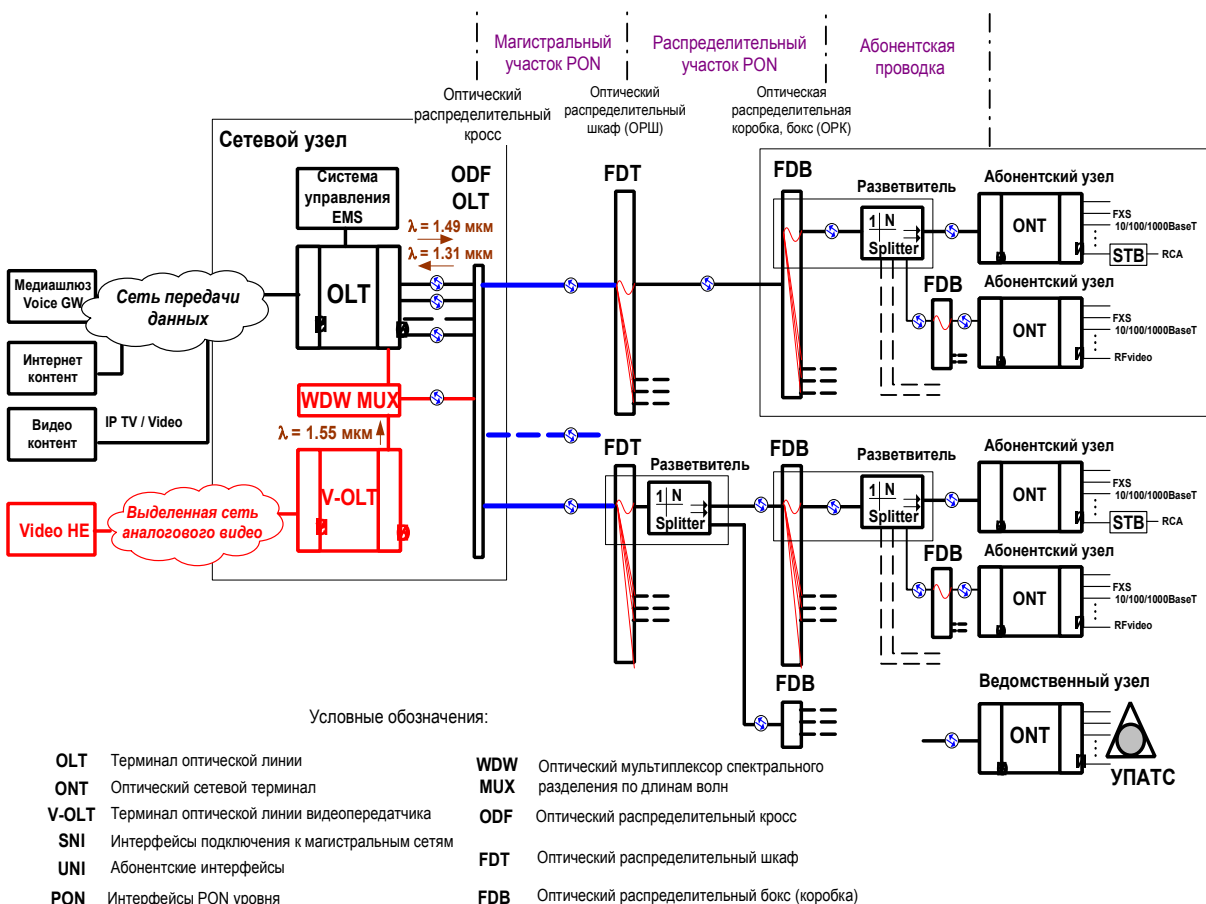


Рис. 6. Типовая обобщенная схема построения сети абонентского доступа по технологии FTTH/PON.

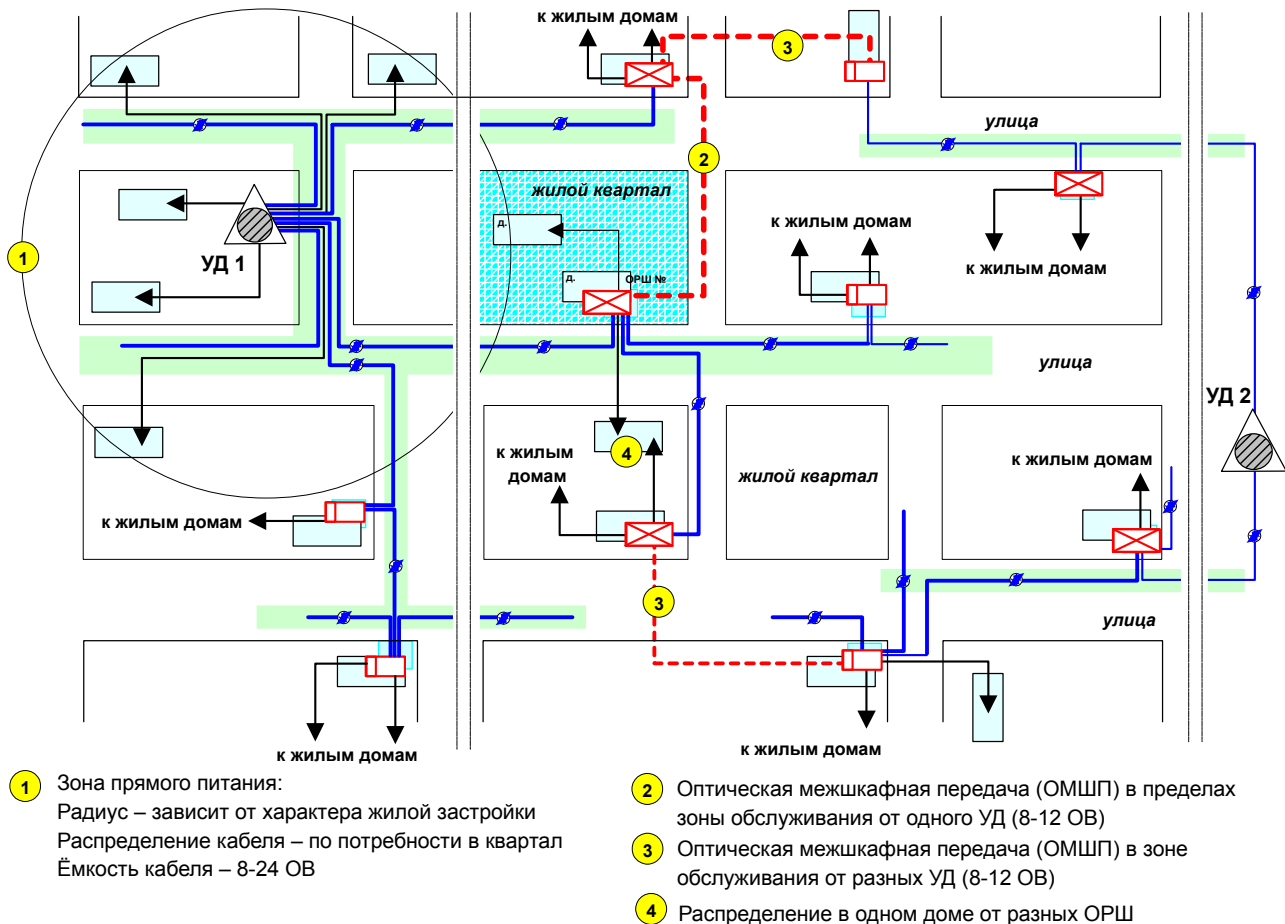


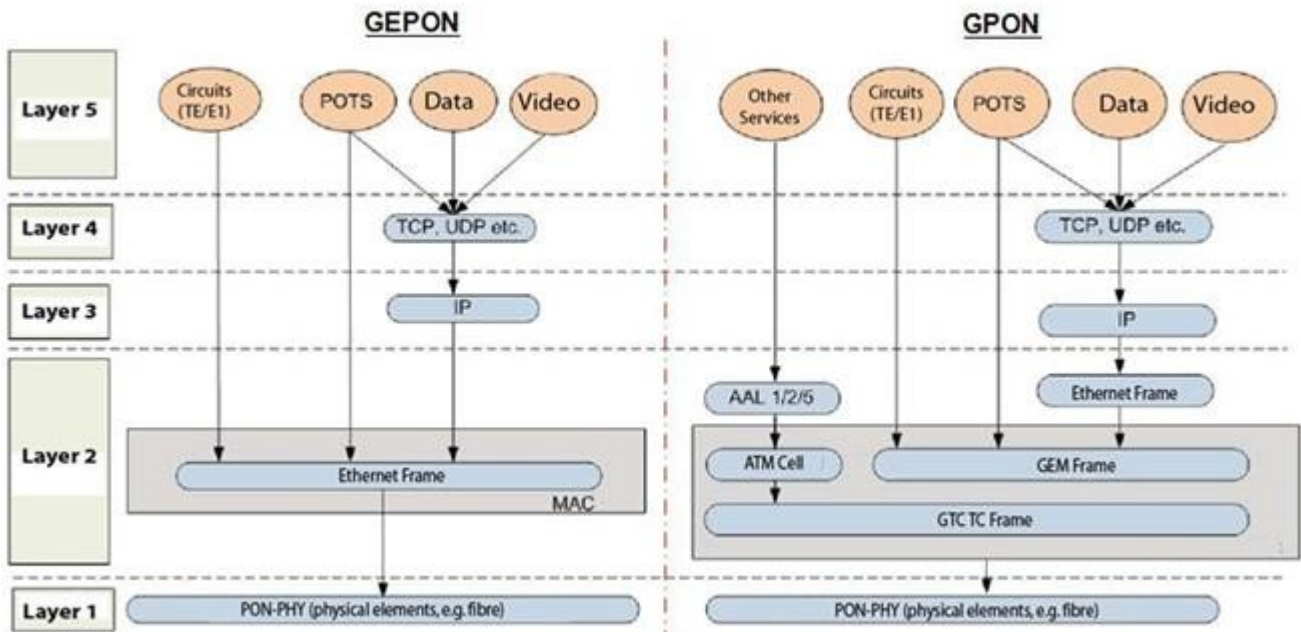
Рис. 7. Типовая схема построения магистрального участка PON.

В классе гигабитных пассивных оптических сетей, есть две ключевые технологии – **GPON** и **GPON**.

Первая из них – технология GPON, которая передает фреймы Ethernet в оптической среде. Эта технология описана в документе IEEE 802.3ah, выпущенном более десяти лет назад. В этой спецификации для передачи данных используются фреймы Ethernet, что позволяет достигать скоростей до 1 Гбит/с в обоих направлениях – использование избыточного линейного кода 8B/10B («чистая» полоса меньше на ~20%). Топологическая структура сети GPON может быть любой: шина, звезда, их комбинация и, в некоторых случаях кольцо для резервирования, что реализуется с помощью автоматических оптических переключателей. В числе достоинств данной технологии можно отметить невысокую стоимость решений, созданных на ее основе.

Более совершенный стандарт Gigabit PON (GPON) G.984 был принят ITU-T в 2005 году. Он основан на использовании специального протокола, который, в свою очередь, использует стандарты SDH. Технология позволяет транслировать данные в соотношении симметричной и асимметричной скорости до 2,5 Гбит/с - использование линейного кода NRZ без избыточности дает «реальные» 2.5G. Преимущества GPON включают встроенные механизмы для обеспечения QoS для передачи мультимедиа.

## GEPON vs. GPON



Example of other services: IP over ATM, Ethernet over ATM, Switched megabit data service, LAN emulation, T1/E1 and x64 kps emulation, Voice over ATM

Рис. 8. Физический-1, канальный-2, сетевой-3, транспортный-4 и остальные-5-сеансовый, представительский и прикладной уровни модели OSI (ГОСТ Р ИСО/МЭК 7498-1-99) гигабитных вариантов технологий PON.

## GEPON

Рассмотрим формат пакета сети GEPON. Практически они являются стандартными пакетами Ethernet со специфическим мультикаст-адресом места назначения и кодом Ethertype. Смотри рисунки параграфа.

Адрес назначения	Адрес отправителя	Тип 8809	Подтип 03	Флаги	Код	Код	CRC	
6	6	2	1	1	1	42-1496	4	
<b>Информация OAMPDU</b>					Код 00	Локаль. инфо TLV	Удален. инфо TLV	....
<b>OAMPDU события</b>					Код 01	Посл. #	Link event TLV	....
<b>OAMPDU запроса</b>					Код 02	Перем. дескриптор (ветвь&лист)		....
<b>OAMPDU отклика</b>					Код 03	Перем. контейнер (ветвь, лист, ширина, значение)		...
<b>OAMPDU управления</b>					Код 04	Команда обрат. связи		
<b>Сецифич. OAMPDU</b>					Код FE	24-бит OUI	....	

Рис. 9. Формат пакета GEPON.

Коды мультикаст-адреса назначения и EtherType определяют, что это кадр медленного протокола. Стандарт 802.3 определяет несколько медленных протоколов;

одним из них является LACP (Link Aggregation Control Protocol – протокол контроля агрегации каналов). Протоколы задаются кодом подтипа протокола, значение 3 выделено для OAM (Operations Administration and Maintenance). Использование протокольного MAC-адреса гарантирует корректную интерпретацию OAMPDU (PDU - Protocol Data Unit - поля данных) подуровнем MAC. Большая часть информации OAMPDU передается в формате TLV (type-length-value). Первый октет (или байт) указывает на тип данных. Этот код в программах обозначается переменной и определяет в клиенте OAM то, как следует декодировать данные. Следующий октет содержит длину информации. Этот код обычно используется, чтобы обойти массив данных, когда тип этой информации не может быть интерпретирован клиентом OAM. Последующие октеты представляют собственно информацию.

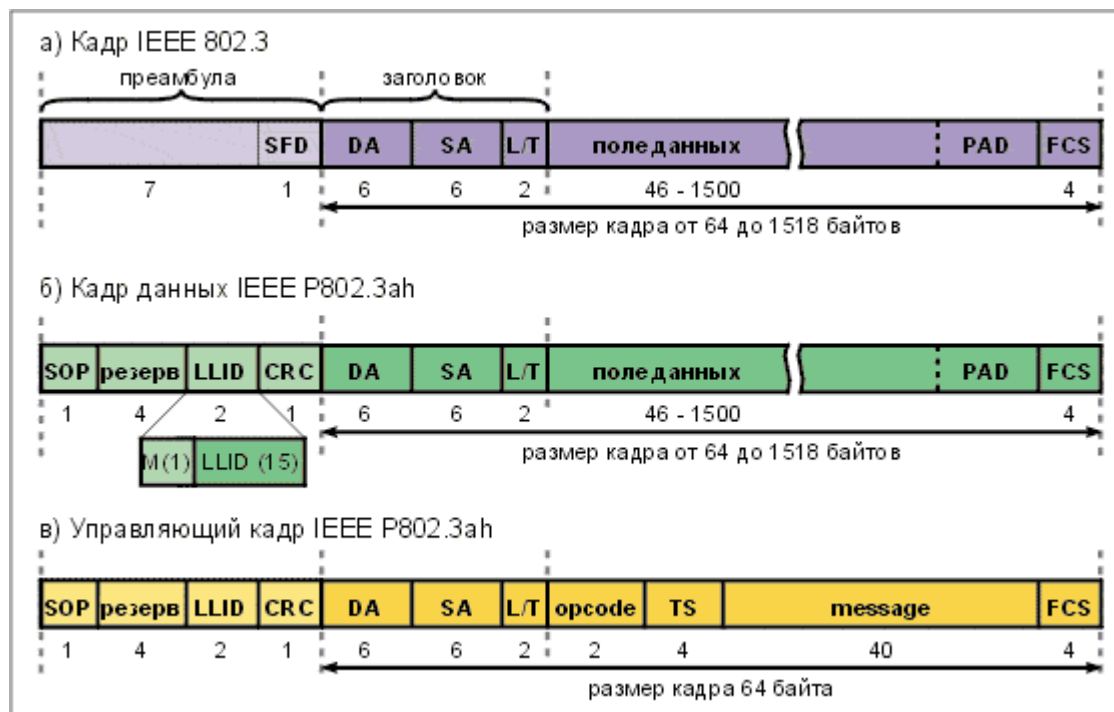


Рис. 10. Форматы кадров Ethernet и GEPON.

При прохождении кадров Ethernet через сеть GEPON не происходит их фрагментации. Преамбула стандартного кадра Ethernet, см. рисунки, модифицируется добавлением нескольких служебных полей:

- SOP (start of packet) – поле 1 байт, указывает на начало кадра;
- Резервное поле, 4 байта;
- LLID (logical link identifier) – поле 2 байта, указывает индивидуальный идентификатор узла GEPON. LLID требуется для эмуляции соединений "точка-точка" и "точка-многоточка" в сети GEPON. Первый бит поля указывает режим вещания кадра ("unicast" или "multicast"). Остальные 15 бит содержат собственно индивидуальный адрес узла GEPON;
- CRC (circle redundancy check) – поле 1 байт, контрольная сумма по преамбуле.

То есть при прохождении кадра через сеть GEPON навешивается GEPON-метка. На выходе кадра из сети GEPON - метка убирается. OLT модифицирует преамбулу каждого исходящего в дерево PON кадра, а именно в преамбулу добавляется специальный тег LLID. Этот тег извлекается соответствующим подуровнем на ONT, где происходит восстановление преамбулы. Узел ONT в нормальном режиме работы, т.е. когда уже зарегистрирован, обрабатывает только те

кадры, в преамбуле которых идентификатор LLID, который совпадает с собственным LLID.

Остальные поля кадра GEAPON совпадают с полями стандартного кадра Ethernet:

- DA (destination address) – поле 6 байт, указатель MAC-адреса станции назначения. Это может быть физический адрес (unicast), групповой адрес (multicast) или широковещательный адрес (broadcast);
- SA (source address) – поле 6 байт, указатель MAC-адреса станции отправителя;
- L/T (length/type) – поле 2 байта, содержит информацию о длине или типе кадра;
- Поле данных, переменной длины;
- Pad (наполнитель) – поле используется для дополнения кадра до минимального размера;
- FCS (frame check sequence) – поле 4 байта, контрольная последовательность кадра, в котором указывается контрольная сумма, вычисленная с использованием циклического избыточного кода.

Внутри сети GEAPON кроме кадров данных передаются и служебные кадры (сообщения) (рис. 10-в). Все они имеют фиксированную длину 64 байта. Преамбула и адресные поля управляющего кадра и кадра данных GEAPON аналогичны. Остальные поля управляющего кадра несут следующую информацию:

- L/T – поле 2 байта, для управляющего кадра поле содержит значение 0x8809, именно по этому полю узел GEAPON отличает управляющий кадр от кадра данных;
- opcode (optional code) – поле 2 байта, уточняет тип управляющего кадра, существуют две категории управляющих кадров, отличающиеся значением этого поля - сообщения GATE, которые выдает OLT, и сообщения REPORT, которые выдает ONT;
- TS (time stamp) – поле 4 байта, содержит временную метку отправителя message – поле 40 байт, собственно в этом поле содержится служебная информация, необходимая для работы протокола MPCP.

*Протокол управления многоточечным обменом MPCP - Multi-point Control Protocol.*

Для присвоения временных доменов с помощью OLT, группой IEEE 802.3ah был разработан протокол MPCP. Этот протокол основан на двух сообщениях Ethernet: GATE и REPORT. Сообщение GATE посылается от OLT к ONU и используется для присвоения временного домена. Сообщение REPORT используется ONU для информирования OLT о своем текущем состоянии (заполненность буфера и т.д.), чтобы принимать правильные решения о выделении временного домена. Как GATE, так и REPORT-сообщения являются кадрами управления MAC.

Существуют два режима работы MPCP - автодетектирование (инициализация) и обычная работа. Режим автодетектирования используется для детектирования вновь подключенных ONU и определения RTT и MAC-адреса этих ONU. Нормальный режим используется для присвоения временных доменов всем инициализируемым ONU. Так как в инициализации могут нуждаться более одного ONU одновременно, автодетектирование является процедурой, предполагающей конкуренцию.

На верхнем уровне это осуществляется следующим образом:

- OLT выделяет стартовый временной домен, интервал времени, когда неинициализированному ONU разрешено осуществить передачу. Длительность этого домена инициализации должна быть, по крайней мере,

равна  $\langle \text{transmission size} \rangle + \langle \text{maximum round-trip time} \rangle - \langle \text{minimum round-trip time} \rangle$ , где  $\langle \text{transmission size} \rangle$  равно размеру окна передачи (transmission window), которое инициализируемое ONU может использовать;

- OLT посылает инициализирующее сообщение GATE, которое уведомляет о начале инициализационного временного домена и о его протяженности, при передаче этого сообщения на более высокий протокольный MAC-уровень, MPCP присвоит ему временную метку, сопряженную с его локальным временем;
- когда неинициализированные ONU откликнутся на сообщение инициализации GATE, при его получении, ONU установит местное время в соответствии с полученной с GATE временной меткой;
- далее как только локальные часы, размещенные в ONU указывают на начало времени инициализации, ONU передает свое сообщение REPORT инициализации - сообщение REPORT содержит адрес ONU и временную метку, характеризующую местное время ONU, когда было послано сообщение REPORT;
- когда OLT получает REPORT от неинициализированного ONU, он определяет его MAC-адрес и RTT, RTT для ONU равно разности времен получения сообщения REPORT, полученного OLT и временной метки, содержащейся в REPORT — см. рисунок.

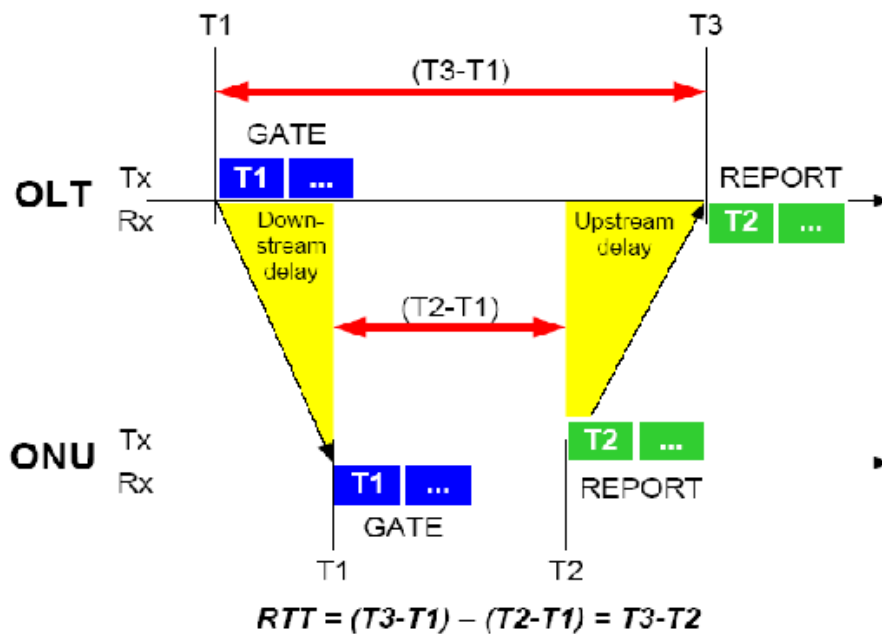


Рис. 11. Измерение временного интервала и назначение временного домена RTT в GPON.

Так как несколько неинициализированных ONU могут откликнуться на одно и то же сообщение GATE, сообщения REPORT могут сталкиваться. В этом случае ONU, чьи REPORT столкнулись - не получают временного домена. Если ONU не получит временной домен в пределах интервала таймаута, он будет знать, что произошло столкновение, и попытается повторить инициализацию, пропустив случайное число инициализационных сообщений GATE. При повторных столкновениях псевдослучайная выдержка удваивается.



## GPON

G.984.1 — представлена архитектура, основные эксплуатационные характеристики и пропускная способность.

G.984.2 — спецификация физического уровня сети GPON, зависящей от среды передачи — PMD. GPON PMD определен с использованием методов и соглашений, что и SDH/SONET и за основу взята база SDH с присущими уровнями и тактовыми частотами.

ITU-T Рекомендации G.984.2 + G.984.2 Amd 1 + G.984.2 Amd 2.

Таблица 1. Характеристики GPON Интерфейса

Характеристики	Единица измерения	Интерфейс В+	Интерфейс С+
<b>Передача</b>		<b>OLT Tx</b>	<b>OLT Tx</b>
Номинальная скорость передачи данных	Мбит/с	2488.32	2488.32
Рабочая длина волны	нм	1480-1500	1480-1500
Код передачи	-	Зашифрованный NRZ	Зашифрованный NRZ
Минимальное затухание ODN	дБ	> 32	> 32
Значение выходной мощности (мин.)	дБм	+1.5	+3
Значение выходной мощности (макс.)	дБм	+5	+7
Коэффициент затухания условной реакции	дБ	>8.2	>8.2
Допустимое значение мощности падающего луча для Tx	дБ	> -15	> -15
SLM лазер – максимальная ширина	нм	1	1
Одномодовый лазер - минимальная SMSR	дБ	30	30
<b>Прием</b>		<b>OLT Rx</b>	<b>OLT Rx</b>
Скорость получения	Мбит/с	1244	1244
Принимающая длины волны	нм	1290-1360	1290-1360
Максимальный коэффициент отражения оборудования, измеренный в длине волны Rx	дБ	< -20	< -20
Коэффициент ошибок	-	< -10 <sup>-10</sup>	< -10 <sup>-10</sup>
Минимальная чувствительность	дБм	-27	-32**
Минимальная перезагрузка	дБм	-8	-12**
Потеря мощности входящего/оптического сигнала	дБм	0.5	1
Защита от последовательных идентичных цифр	бит	>72	>72
Допустимое значение отражения оптической мощности	дБ	<10	<10
<b>Бюджет линий</b>			
Минимальные оптические потери на 1310 нм, 1490 нм	дБ	13	17
Максимальные оптические потери на 1310 нм, 1490 нм	дБ	28	32

Максимальная длина волокна	км	60
----------------------------	----	----

\*\*OLT RX= -12 ~-32 дБм (Для увеличения чувствительности OLT предполагается использование дополнительных RS(255,239) FEC-способность GPON TC-слоя, а также внутренний детектор улучшений).

G.984.3 — спецификации уровня управления передачей в GPON. Представлена фреймовая (кадровая) специальная система координации и управление передачей данных в PON. Две важнейшие особенности:

- высокая эффективность (превышающая 90%);
- способность передавать как ATM-ячейки, так и кадры данных в формате инкапсуляции GFP (официально стандартизирован как G.704.1 ITU-T).

Кадры в нисходящем потоке имеют постоянную длительность 125мксек, легко синхронизируются и обеспечивают доступ к 8кГц сетевым часам, что дает возможность прямого использования TDM-услуг. Кадр в нисходящем потоке состоит из 3-х частей:

- блок физического контроля — PCB - информация заголовка физического уровня, для контроля и управления PON, включая посылку OAM-сообщений (выделенные каналы), передачу сигналов низкого уровня и таблицу полосы пропускания;
- ATM-участка — динамически распределяемая часть кадра — переносит в ATM-ячейки в ONT (ONU), где с помощью индикатора виртуальной линии — VPI ATM — определяется какая ячейка предназначается какому ONT;
- участка GEM - Gigabit Encapsulation Mode – гигабитный режим инкапсуляции — доставляет фрагменты GEM абонентским ONT, которые используют идентификаторы Port-ID для определения, какой фрагмент GEM принадлежит какому ONT.

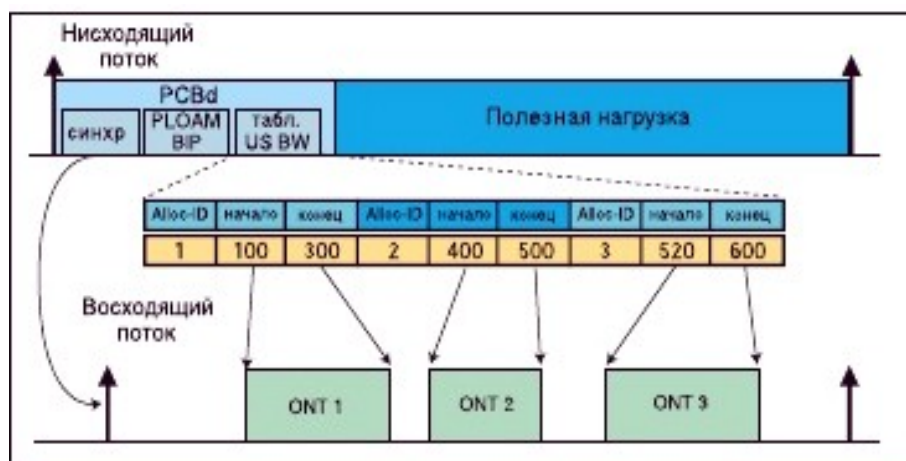


Рис. 12. Организация контроля доступа к среде передачи GPON.

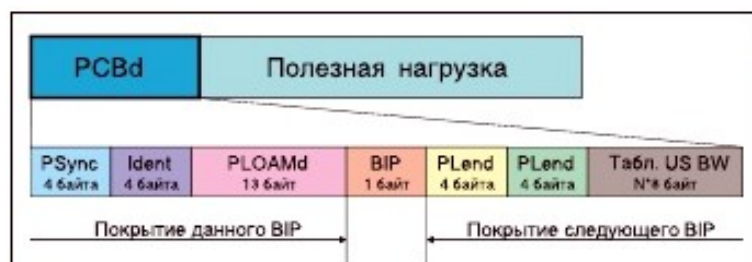


Рис. 13. Структура кадра в нисходящем потоке GPON.

Кадр в восходящем потоке динамически управляется OLT с помощью таблицы полосы пропускания — список времен начала и окончания передачи идентификатора Allocation-ID абонентского ONT, который может содержать один

или несколько Allocation-ID, в зависимости от профиля услуги — то есть ONT будет передавать в восходящем потоке данные к OLT только в указанном таблицей окне, в остальной части кадра ONT передача запрещена. Если ONT производит передачу в двух последовательных окнах, то заголовок физического уровня посылается один раз, для экономии полосы пропускания.

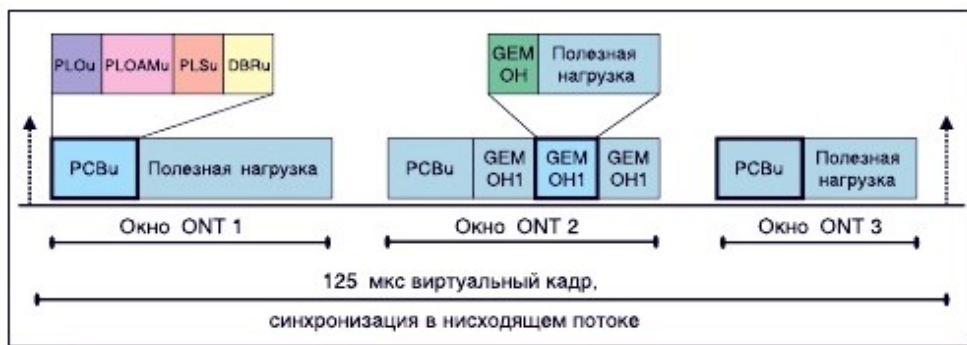


Рис. 14. Синхронизация передачи в кадре восходящего потока GPON.

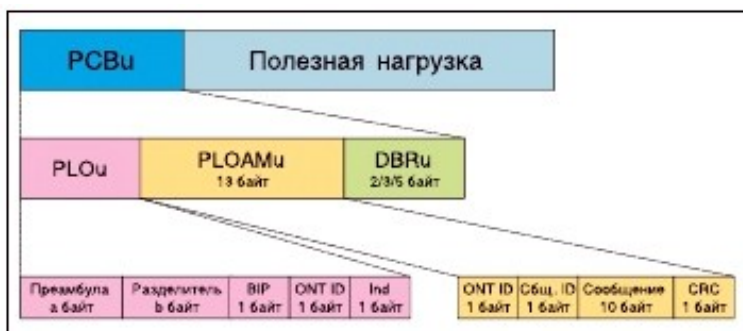


Рис. 15. Структура кадра восходящего потока GPON.

Далее рассмотрим формирование и организацию GEM-каналов.

Между ONT и OLT трафик передается в сформированной PON-сети ПД с использованием GEM-каналов переменной длины. Каждая услуга (вид) при организации сети связи рассматривается как единый пункт назначения в ONT и идентифицируется OLT индивидуальным ALLOC\_ID. Сколько абоненту назначено видов услуг — столько и будет у него на ONT присвоенных ALLOC\_ID — пунктов назначения трафика. Номер ALLOC\_ID назначается OLT из диапазона 0.....4095.

В рамках одного пункта назначения (вид услуги в ONT) с выделенным ALLOC\_ID создается группа логических соединений - GEM-каналов из GEM-портов каждый из которых имеет свой идентификатор — GEM\_port\_ID, который также назначается OLT из диапазона 0.....4095.

Условно структуру доставки трафика-каждого GEM-канала можно представить следующим образом:

Ethernet\_OLT<=>

<=>порт\_GPON-OLT-групповой<=>

<=>ONT/(ONU)-identified by ONU\_ID<=>

<=>пункт назначения/(тип услуги)-identified by ALLOC\_ID<=>

<=>GEM-порт-identified by GEM\_port\_ID<=>

<=>Ethernet\_ONT

Существует два типа каналов GEM:

- каналы GEM только по потоку — эти каналы используются для передачи трафика широковещательной/многоадресной передачи по потоку от OLT ко всем ONT - ONT определяют трафик, предназначенный для них на основе идентификатора порта GEM;
- двунаправленные каналы GEM - эти каналы используются для потока вверх и вниз по потоку между OLT и ONT - кадры передаются из OLT в интерфейс GPON и пересылаются только на физический порт пункта назначения ONT, на который был назначен этот порт GEM.

Таким образом, в интерфейсе GPON каждый GEM-порт несет один или несколько потоков трафика, связанных с конкретным классом трафика.

В структуре оконечного интерфейсе ONT трафик делится на VLAN с различными приоритетами Ethernet на основе: физического порта, идентификатора VLAN, битов 802.1p и/или DSCP (Differentiated Services Code Point). Как только трафик будет назначен значениям VLAN и COS (802.1p), эти два значения используются для выбора восходящего GEM-порта, чтобы QoS можно было применить к потокам, переносимым GEM-портом.

В архитектуре VLAN один к одному ONT отображает каждую виртуальную локальную сеть в уникальный выходной интерфейс — чаще Ethernet. Существует два варианта назначения тегов на входном интерфейсе OLT в восходящем направлении — трафик там адресуется как двухточечный или одноточечный.

Для VLAN с двойным тегированием и назначенным идентификатором C-VLAN для ONT при прописанной службе эмуляции OLT может сам добавить идентификатор S-VLAN.

Для VLAN с двойной меткой в сторону ONT могут назначаться идентификаторы VLAN S-C для входящего трафика и OLT пропускает его транзитом.

В обратном направлении для одноточечной VLAN ONT добавляет идентификатор S-VLAN или преобразует входящий тег в идентификатор S-VLAN для восходящего трафика и OLT будет пропускать через себя такой сквозной трафик.

В направлении вниз по потоку OLT удаляет внешний тег и пропускает трафик на соответствующий порт GEM на основе значения тега и битов приоритета. ONT удаляет теги и пересылает кадры из порта GEM в свой соответствующий выходной интерфейс.

Таким образом подслоем GTC Adaptation отображает Ethernet-фреймы в рамки GPON GEM. Для обеспечения QoS используются два механизма:

- классификация трафика в классах механизмом QoS для поддержки QoS Ethernet (биты 802.1p);
- перенаправление классов трафика в порты GEM и ALLOC\_ID, настроенные для эмуляции службы QoS Ethernet.

В OLT трафик полученный от внешнего интерфейса присваивается очередям в соответствии с классами и передается в нисходящем направлении к ONT. В ONT трафик снова классифицируется и помещается в соответствующие очереди для каждого выходного интерфейса ONT. И наоборот.

Процедура активации ONT состоит из следующих этапов:

- ONT получает рабочие параметры PON;
- ONT настраивает уровень оптической передачи в соответствии с требованиями OLT;

- OLT определяет серийный(-е) номер(-а) вновь подключенных ONT;
- OLT назначает идентификаторы ONT-ID всем вновь подключенных ONT;
- OLT измеряет расстояние от OLT до вновь подключенных ONT и назначает корректирующие задержки для новых ONT;
- ONT настраивает начало отсчета часов (синхроимпульсов) для кадров в восходящем потоке в соответствии со своей корректирующей задержкой в сети PON.

До описания элементов и конструктивов небольшая справка по QoS.

Понятие службы QoS объединяет три механизма приоритетов трафика ToS, DSCP, CoS. QoS - Quality of Service (качество обслуживания) и выражается в построении и обработке очереди пакетов с разными из присвоенных приоритетов по одному из существующих алгоритмов DWRED - Distributed Weighted Random Early Detection, WFQ - weighted fair queueing или CAR - Committed Access Rate.

Вначале расшифруем аббревиатуры. ToS означает Type of Service, DSCP - Differentiated Services Code Point, CoS - Class of Service.

Аббревиатуры ToS и DSCP тождественны - используются для обозначения специального байта данных стандартного заголовка IP-пакета. Этот байт несет информацию о приоритете трафика, который в сетевом трафике обычно назначается для пакетов IP-телефонии (третий сетевой уровень L3). Поскольку это один и тот же байт, то он иногда интерпретируется по-разному (либо как ToS-байт, либо как DS/DSCP-байт), получается некоторая путаница, хотя смысл и принцип технологии приоритетов не меняется - пакеты, помеченные более высоким приоритетом, передаются быстрее (менее приоритетные становятся в очередь). Наложение на пакеты битов приоритета еще называют "маркированием" трафика, и чтобы механизм приоритетов действительно работал, на всем пути прохождения трафика биты приоритета необходимо анализировать и обрабатывать на активном сетевом оборудовании (настраиваемые роутеры и коммутаторы). На рисунке 16 показан порядок следования бит байта маркировки трафика (красным отмечены наиболее важные, серым - неиспользуемые).

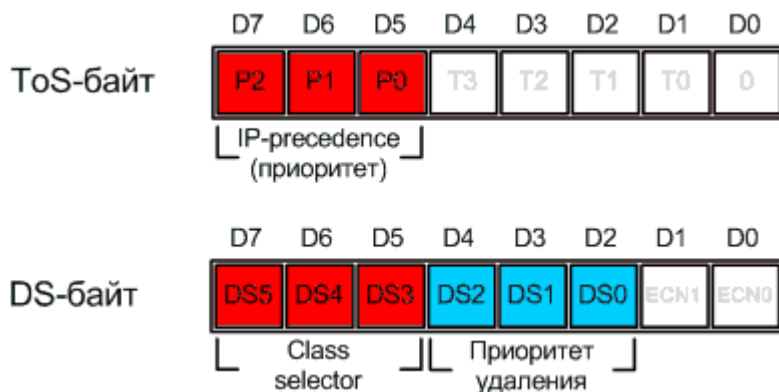


Рис. 16. Маркировка трафика битами приоритета.

Если для маркировки пакетов используют механизм ToS, то в контексте приоритета имеют в виду 3 старшие бита P2...P0, кодирующие уровень приоритета от 0 (минимальный приоритет) до 7 (максимальный приоритет).

В случае пакетов IP-телефонии применяется уровень приоритета 5 (critical, ToS-байт равен 0xA0 или 10100000b), а для обычного трафика уровень 0 (routine,

ToS-байт равен 0x00 или 00000000b). Оборудование Cisco для каждого уровня приоритета использует специальное имя (precedence critical, precedence flash и прочие, см. далее), но работа механизма та же.

Cisco - IP Precedence Value:

0-routine; 1-priority; 2-immediate; 3-flash; 4-flash-override; 5-critical; 6-internet; 7-network.

Если для маркировки приоритета используют механизм DSCP, то имеют в виду 6 старших бит DS5...DS0, где биты DS5...DS3 кодируют уровень класса обслуживания от 0 (минимальный приоритет) до 7 (максимальный приоритет) и биты DS2...DS0 - приоритет удаления пакетов (от 0, когда приоритет удаления максимальный, до 7, когда приоритет удаления минимальный - кодирование приоритета удаления "обратное"). В итоге получается число от 0 до 63, кодирующее приоритет (чем больше число, тем трафик важнее). Такое многоуровневое кодирование приоритета часто оказывается избыточным, и поэтому часто, для определения приоритета, используются только биты DS5...DS3. В случае пакетов IP-телефонии применяется класс сервиса 5 (DS-байт равен 0xA0 или 10100000b), а для обычного трафика - класс сервиса 0 (DS-байт равен 0x00 или 00000000b). При сравнении с ToS - меняется только терминология, а значение байта остается и передается то же самое.

Если для маркировки приоритета трафика (пакетов) используют механизм CoS, то это значит, что передача данных производится на втором сетевом уровне L2 (MAC-адреса). При этом для кодирования пакетного приоритета также используются 3 бита (получаются уровни класса сервиса от 0 до 7). Расположение бит приоритета в потоке данных зависит от типа магистрального канала L2.

## **Конструктивы и элементы сетей PON**

На сети PON обычно используются следующие конструктивы, материалы и элементы (компоненты) сети:

- Оптические кабели магистральной, распределительной сети и абонентской проводки;
- Оптический кросс высокой плотности для установки на АТС (ODF OLT);
- Оптические распределительные шкафы (ОРШ);
- Оптические распределительные коробки (ОРК);
- Оптические абонентские розетки (РА);
- Оптические разветвители (сплиттеры);
- Оптические мультиплексоры WDM и аттенюаторы;
- Различные патч-панели и аксессуары.

Рассмотрим подробнее устройство различных элементов сети абонентского доступа PON.

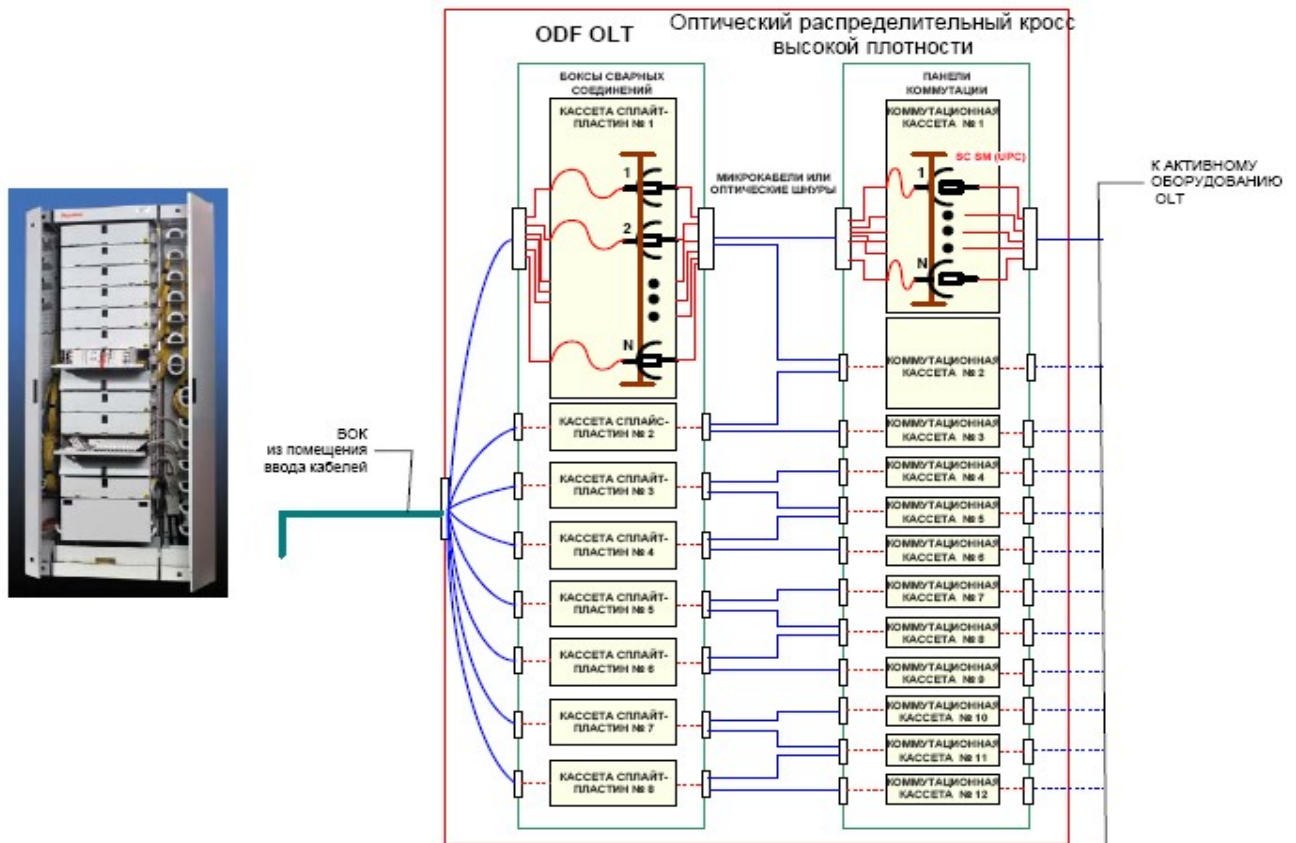


Рис. 16. Устройство оптического кросса высокой плотности ODF PON.

**FIST GR2 (TYCO)**



**TELECT (США)**



**FINNFLASH 1000 (ONINEN)**



Рис. 17. Оптические кроссы высокой плотности разных производителей.

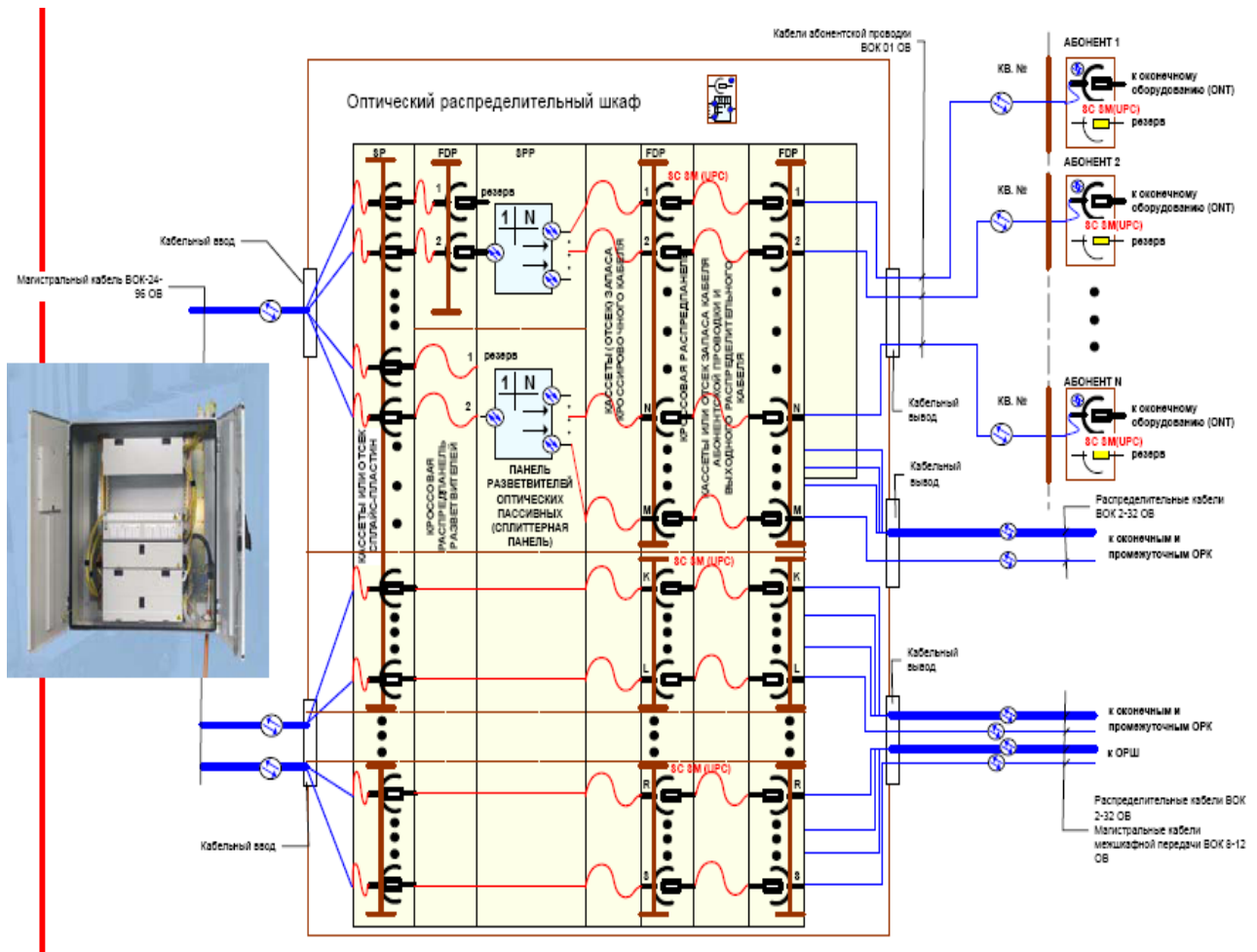
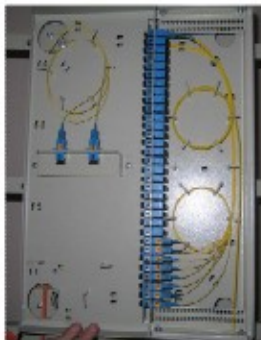


Рис. 18. Устройство оптического распределительного шкафа ОРШ PON.

ОРШ Лентелефонстрой-Опытный завод



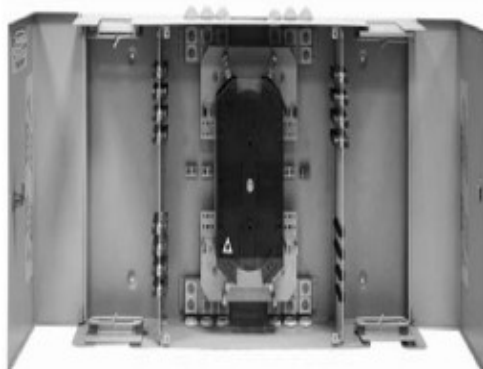
ОРШ ТУСО



ОРШ TELEST (США)



ОРШ Связьстройдеталь



ОРШ Oninnen (Teletekno)



Рис. 19. Оптические шкафы разных производителей.



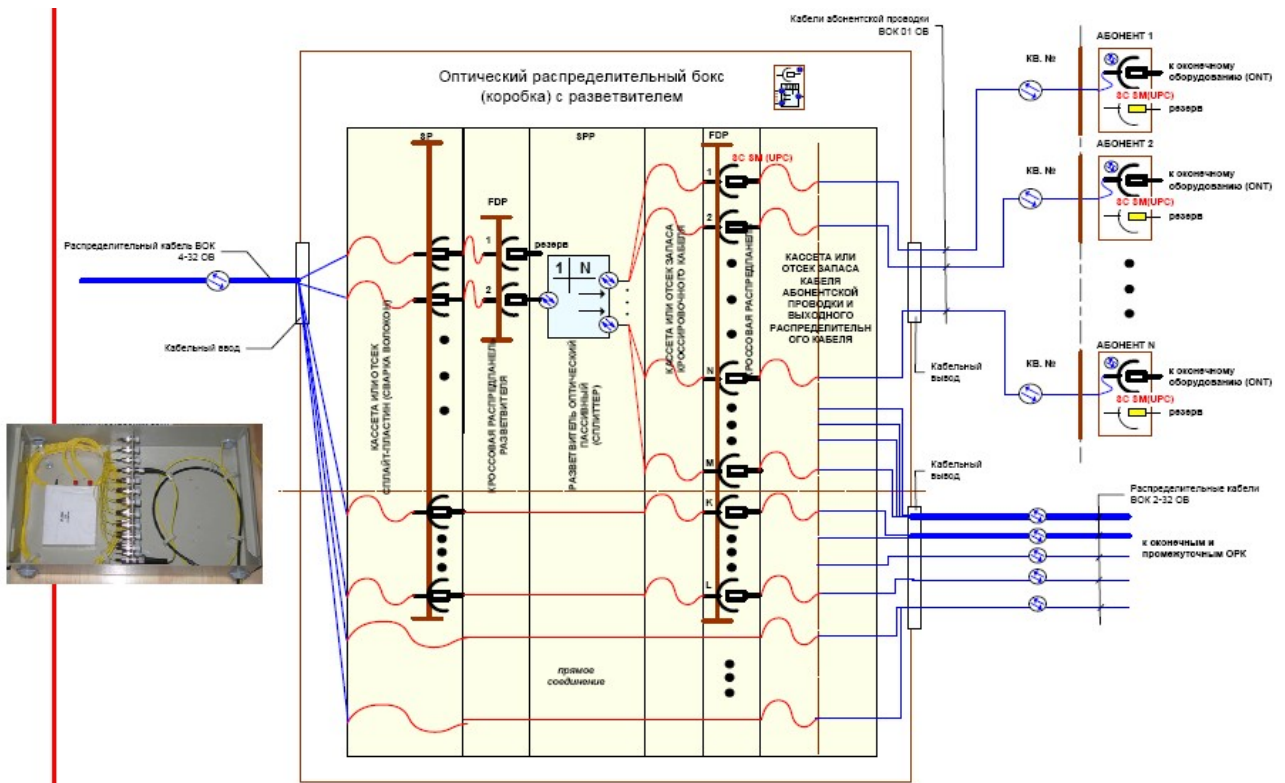


Рис. 20. Устройство оптической распределительной коробки ОРК PON.

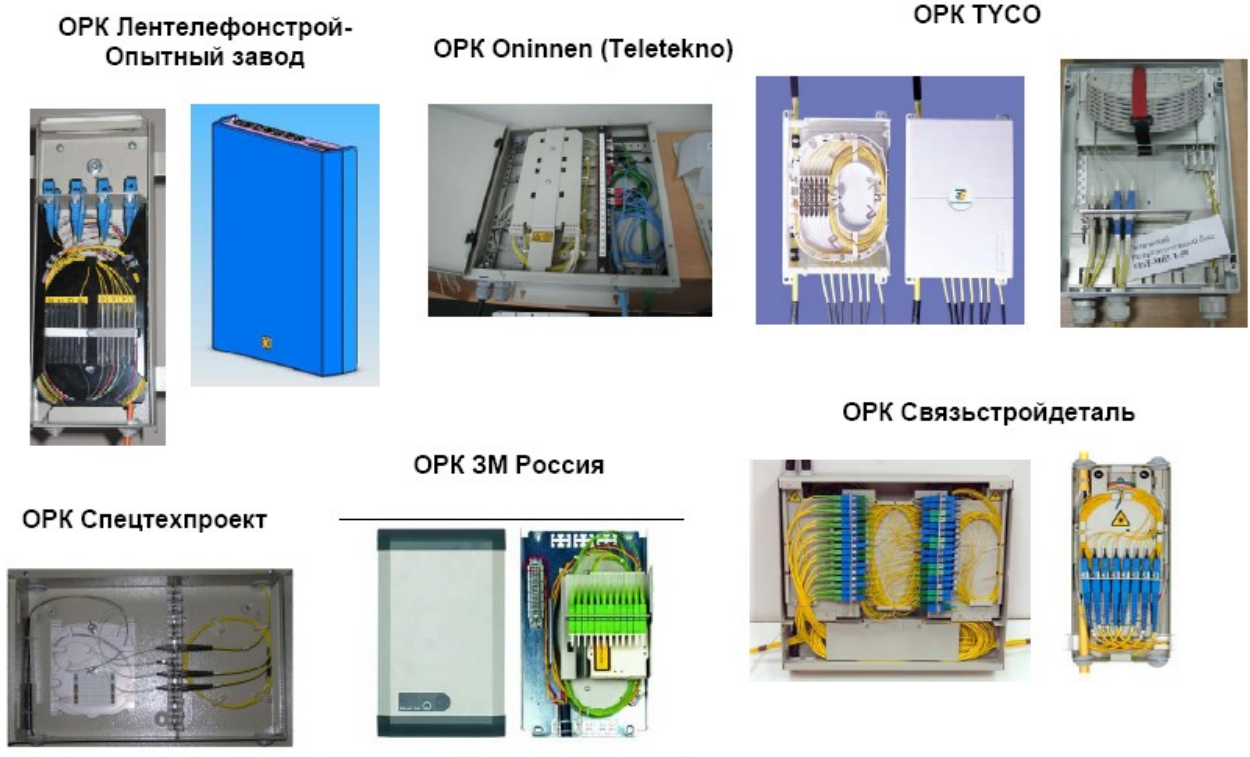


Рис. 21. Оптические коробки разных производителей.

Надежность и качество связи и получаемых абонентом услуг напрямую зависит от затухания сигнала в абонентской линии. Перечислим основные причины затухания сигнала в АЛ PON:

- полное затухание в оптическом волокне: зависит от коэффициента затухания волокна на определенной длине волны и его длины —  $\text{max } 0,34 \dots 0,4 \text{ дБ/км}$ ;
- полные потери в сростках (сварные соединения): зависят от потерь в каждом сростке и их общего количества —  $\text{max } 0,05 \dots 0,1 \text{ дБ/сросток}$ ;
- полные потери в соединителях (разъёмные соединения): зависят от потерь в каждом соединителе и их общего количества —  $\text{max } 0,2 \dots 0,3 \text{ дБ/разъем}$ ;

- потери в разветвителях волокон (сплиттерах): зависят от коэффициента разветвления - 1/2 — 3,5 дБ; 1/4 — 7,2 дБ; 1/8 — 10,7 дБ; 1/16 — 14,4 дБ; 1/32 — 17,5 дБ;
- штрафные потери: потери на изгибах волокна при прокладке - 1дБ;
- эксплуатационные потери: на кабельных вставках при ремонте — 3дБ.

Расчёты затухания Тип волокна: G.652 ITU-T D		Единица измерения	Длина волны, нм	
			1310	1490
1	Коэффициент затухания волокна	дБ/км	0,20	0,25
2	Хроматическая дисперсия	пс/нм км	3,50	18,0
3	Длина линии	км	5	2,5
4	<b>Вносимое волокном затухание</b>	<b>дБ</b>	<b>1</b>	<b>0,6</b>
5	Средние потери в сростке	дБ	0,05	0,05
6	Количество сростков	шт.	4	4
7	<b>Суммарные потери в сростках</b>	<b>дБ</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2</b>
8	<b>Эксплуатационный запас</b>	<b>дБ</b>	<b>3,0</b>	<b>3,0</b>
9	Средние потери в соединителях	дБ	0,30	0,30
10	Количество соединителей	шт.	4	4
11	<b>Суммарные потери в соединителях</b>	<b>дБ</b>	<b>1,20</b>	<b>1,20</b>
12	Потери разветвления 1: 32 / 1:16	дБ	17,5/13,7	17,5
13	Потери разветвления 1: 2 / 1:4	дБ	3,5/7,5	3,5
14	<b>Общие потери в линии связи</b>	<b>дБ</b>	<b>26,4</b>	<b>26</b>
15	Допустимые потери	дБ	28,0	28,0
16	<b>Остаточный запас по затуханию</b>	<b>дБ</b>	<b>1,6</b>	<b>2</b>

Пример расчета реального бюджета оптической АЛ по затуханию приведен в таблице. Но необходимо учитывать, что на реальную скорость АЛ влияет не только исправность и техсостояние линии, но и общая абонентская нагрузка (общий трафик) на устройство доступа.

По данным, полученным ФГУП ЦНИИС реальные измерения скорости АЛ сетей абонентского доступа на FTТх-технологиях дали следующие результаты:

- Средняя скорость для абонента сети доступа по технологии GPON -  $V_{аб.ср.}=13$  Мбит/с
- Средняя скорость для абонента сети доступа по технологии FTТВ/Ethernet -  $V_{аб.ср.}=17$  Мбит/с
- Максимальная скорость для абонента сети доступа по технологии GPON -  $V_{аб.макс.}=114$  Мбит/с
- Максимальная скорость для абонента сети доступа по технологии FTТВ/Ethernet -  $V_{аб.ср.}=59$  Мбит/с

## Подключение услуг Triple Play по PON

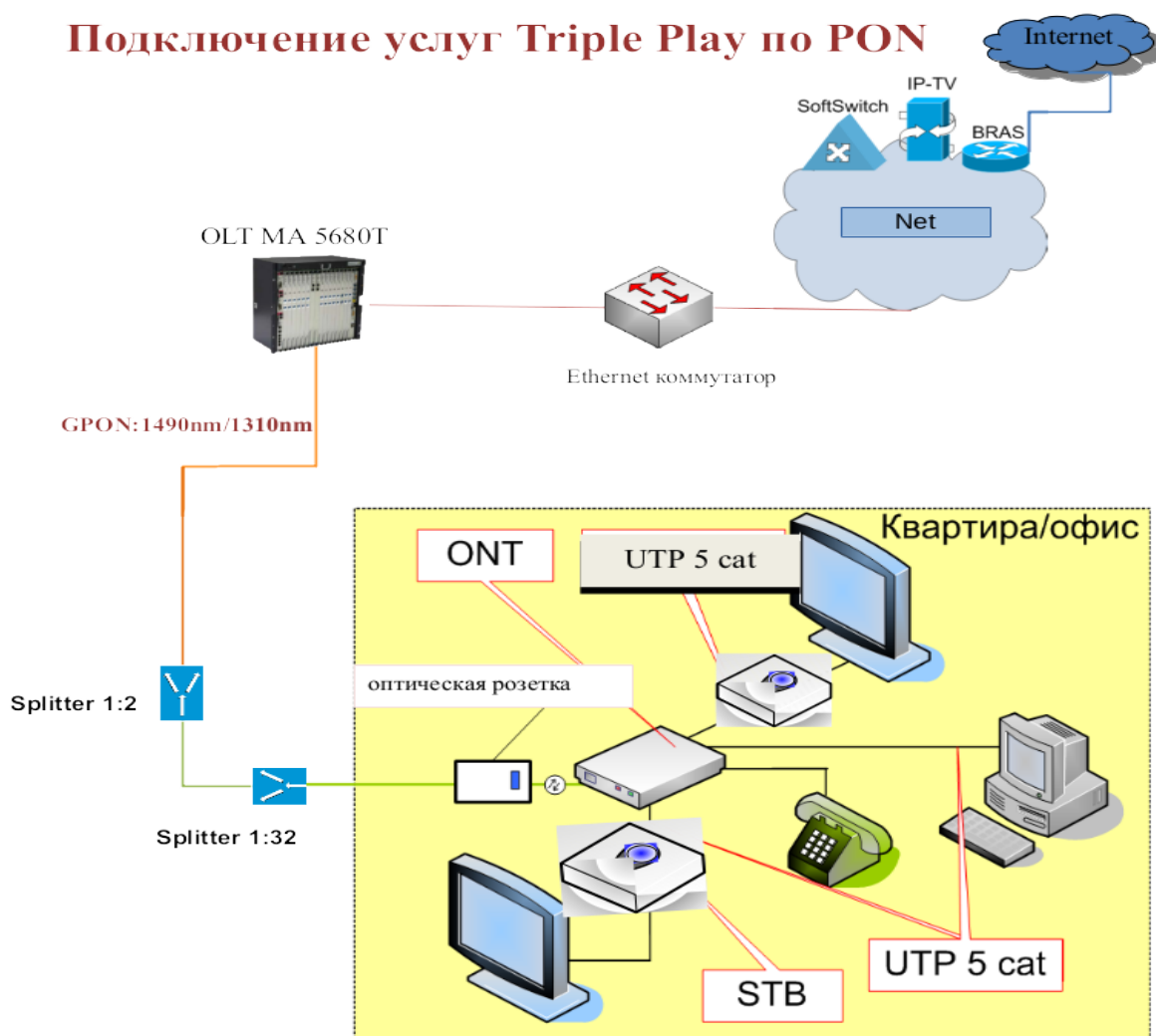


Рис. 22. Подключение абонентов на сети абонентского доступа по технологии PON.

Пример подключения абонентов на сети доступа по технологии PON приведен на рисунке 22. Организация предоставления услуг подробно рассмотрена в 4 лекции.

## Продолжение лекции

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»

ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович

Раздел: **Разновидности технологий связи на сетях абонентского доступа и их применение.**

Тема: **Абонентский доступ по ВОЛС.**

### *Доступ к услугам связи по выделенным ВОЛС, особенности.*

На современной операторской сети доступа предоставление услуг по выделенным линиям производится в основном двумя способами:

- с использованием специализированных мультиплексоров с разделением сетей, чаще всего в качестве базовой применяется технология SDH уровня STM-1 или STM-4;
- с применением Ethernet-коммутаторов с оптическими окончаниями или без оптических окончаний, но с использованием Ethernet-оптоконверторов.

Организация доступа производится чаще всего с использованием двух интерфейсов Fast Ethernet и Gigabit Ethernet, значительно реже 10Gigabit Ethernet.

Таблица. Оптические интерфейсы по стандартам IEEE802.3u; IEEE802.3ae.

Тип интерфейса	Скорость передачи	Тип волокна	Длина волны	Примерная дальность
100Base-FX	100Мбит/с	Многомодовое -ММ	1310 нм	500м (62,5/125мкм) 2км (50/125мкм)
100Base-SX	100Мбит/с	Многомодовое -ММ	850 нм	550м (50/125мкм)
1000Base-SX	1000Мбит/с	Многомодовое -ММ	850 нм	200м (62,5/125мкм) 550м (50/125мкм)
1000Base-LX	1000Мбит/с	Многомодовое -ММ Одномодовое -SM	1310 нм	550м (50/125мкм) 5/10км (9/125мкм)
1000Base-LX10	1000Мбит/с	Одномодовое -SM	1310 нм	10км (9/125мкм)
1000Base-EX	1000Мбит/с	Одномодовое -SM	1310 нм	40км (9/125мкм)
1000Base-LH	1000Мбит/с	Одномодовое -SM	1550 нм	70км (9/125мкм)
1000Base-ZX	1000Мбит/с	Одномодовое -SM	1550 нм	70км (9/125мкм)
10GBase-LR	10Гбит/с	Одномодовое -SM	1310 нм	10км (9/125мкм)
10GBase-ER	10Гбит/с	Одномодовое -SM	1550 нм	40км (9/125мкм)
10GBase-ZR	10Гбит/с	Одномодовое -SM	1550 нм	80км (9/125мкм)

В настоящее время и для коммутаторов и для оптоконверторов самым распространенным стало применение SFM — портов, в которые можно вставлять и проводные и оптические модули.

Типовая блок-схема сменного оптического трансивера - SFP-модуля (англ. Small Form-factor Pluggable) приведена на рисунке 23. SFP-модуль представляет собой малогабаритную конструкцию в металлическом корпусе (для механической защиты и электромагнитного экранирования) с выводами для подключения в слот SFM активного оборудования. В модуле имеется один или два оптических порта:

- излучателя (Tx) и фотоприемника (Rx) для работы в двухволоконном режиме;
- у одноволоконных SFP есть только один оптический порт, а направление передачи и приема разделяется внутри модуля с помощью встроенного WDM-

мультиплектора (BOSA, Bidirectional Optical Sub-Assemblies), в таком случае трансиверы работают в паре на двух разных длинах волн.

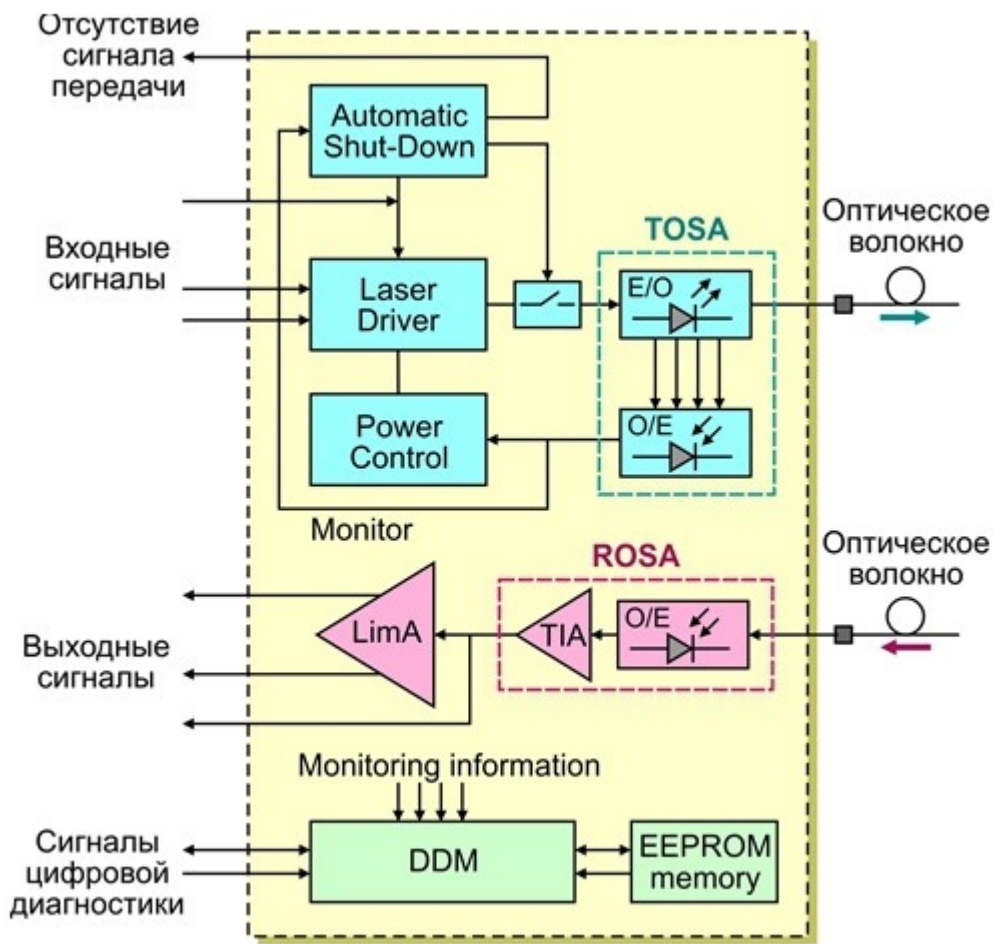


Рис. 23. Блок-схема оптического трансивера SFP.

На плате модуля кроме, собственно, излучателя и фотодетектора находятся схемы обеспечения тока накачки излучателя, преобразователя в линейный код (Laser Driver), смещения на фотодетекторе и термостабилизации (Power Control) и другие:

- TIA — трансимпедансный входной усилитель;
- LimA — усилитель-ограничитель;
- DDM — модуль мониторинга параметров;
- EEPROM — ПЗУ с прошивкой параметров модуля;
- O/E — опто-электронный преобразователь;
- E/O — электронно-оптический преобразователь.

Геометрические размеры, механические параметры, электропитание, параметры электрических интерфейсов и другие данные модулей прописаны в спецификации MSA SFF-8704i.

Услуги для таких абонентов обычно предоставляются с использованием двух способов:

1. Трафика с одним VLAN тегом (непакетированный), где VLAN определяет услуги и клиентов по их Мак адресам. Взаимодействие осуществляется при помощи S-Тега;
2. Трафика с двумя VLAN-Тегами (пакетированный), где первый VLAN-Тег (сервисный тег) определяет запрашиваемую услугу и второй VLAN-тег (тег клиента) идентифицирует клиента. Взаимодействие осуществляется при помощи S-Тега + C-Тега.

## Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»  
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович  
Раздел: **Разновидности технологий связи на сетях абонентского доступа и их применение.**

Тема: **Беспроводные технологии абонентского доступа.**

### Учебные вопросы:

1. Радиотехнология DECT.
2. Беспроводная сеть доступа WiMax.
3. Широкополосные радиосети WiFi.
4. Технологии сотовой связи.
5. Спутниковые радиосети и их особенности.

### Литература:

1. DECT — краткое описание стандарта. Материалы сайта <http://www.informind.ru>.
2. Стандарт WiMAX: техническое описание, варианты реализации и специфика применения / А. Архипкин // Беспроводные технологии. No 3. 2006. Материалы сайта <http://www.wireless-e.ru>.
3. Развитие мобильной связи от 1G к 5G. Материалы сайта <http://www.vitasvyaz.ru>.
4. Поколения мобильной связи. Материалы сайта <http://1234g.ru>

Применение радиотехнических средств в сетях абонентского доступа началось давно. Первенцем, по всей видимости, можно считать радиоканал, предназначенный для создания одной АЛ. На профессиональном жаргоне связистов комплекс оборудования для организации АЛ получил название “радиоудлинитель”. Затем появились многоканальные системы, вначале аналоговые и, несколько позже, цифровые. Первые многоканальные системы использовались для организации связи типа «point-to-point» - конфигурация «точка - точка». Такое решение подразумевает установку оборудования радиорелейной линии (РРЛ) для подключения к местной АТС выносного модуля.

Для организации связи с группой терминалов, распределенных по некоторой территории, были разработаны системы типа «point-to-multipoint» - «точка - множество точек». В названии таких систем в английском языке используются слова Multiple Access. Специалисты радиосвязи трактуют их как многостанционный доступ. Этим подчеркивается физика процесса. Под станцией, в данном случае, понимается оконечное устройство и система многостанционного доступа обеспечивает возможность одновременного обслуживания нескольких терминалов. Специалисты проводной связи обычно переводят слова Multiple Access как множественный или коллективный доступ. Оба варианта перевода, с точки зрения современной терминологии сетей, можно считать корректными.

Существенные изменения в принципах использования радиосредств в сетях доступа произошли только в последние годы. Это связано с широким использованием сотовых (Cellular) и сетевых радиотехнологий, которые позволяют оператору связи эффективно использовать выделенный спектр частот. В настоящее

время они нашли свое применение и используются как в мобильных, так и в стационарных системах связи.

Перечислим основные радиотехнологии операторского класса, получившие применение на сетях и перспективные, позволяющие создавать сети абонентского доступа: DECT, WiMax, WiFi, набор технологий сотовой связи, технологии связи через спутник.

### ***Радиотехнология DECT***

Радиотехнология стандарта DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication) разработана ETSI (Европейским Институтом Стандартов в области Связи) и его первая редакция была принята в 1992 году.

#### *Особенности технологии DECT:*

- Качество связи аналогичное проводной линии – 32 кБит/с АДИКМ (ADPCM);
- Самая высокая скорость передачи данных среди всех TDMA-стандартов;
- Высокая применяемость систем на основе DECT:
  - домашние беспроводные многотерминальные системы, которые также подходят для малого офиса,
  - микросотовые беспроводные корпоративные системы (офисные и учрежденческие АТС с радиодоступом),
  - микросотовые системы общего пользования (СТМ),
  - операторские системы фиксированного радиодоступа (WLL) и др.
    - Сосуществование различных некоординируемых DECT-систем в общем частотном диапазоне без необходимости частотного планирования;
    - Совместимость оборудования разных производителей (при наличии GAP);
    - Обеспечение перехода из соты в соту без разрыва соединения (хэндовер);
    - Возможность обслуживания одной трубки в разных сетях (частных и общего пользования);
    - Обеспечение высокой пропускной плотности трафика - до 10,000 Эрл/км<sup>2</sup>;
    - Совместимость с другими радиосистемами;
    - Отсутствие канала управления - устойчивость к радиопомехам;
    - Низкий уровень излучения передатчика - безопасность для здоровья.

### ***Беспроводная сеть доступа WiMAX***

Беспроводная технология WiMAX разрекламирована в прессе и много писалось о том, что системы WiMAX могут передавать данные на расстояние до 50км со скоростью 70Мбит/с. Но, по данным корпорации Intel, максимальная скорость передачи данных, примерно равная 70Мбит/с, реализуется при использовании 20МГц-канала и высокоуровневой модуляции 64QAM<sup>3/4</sup> и при такой модуляции радиус соты не может быть равным 50км (в реальной системе SkyMAX фирмы Siemens он составляет только 4..6км в зависимости от условий распространения радиосигналов). Другие системы WiMAX работают в частотных полосах шириной от 3,5 до 10МГц, а в полосе частот 10МГц максимальная расчетная скорость передачи данных получается примерно 37Мбит/с. Требуется учитывать и тот факт, что, по разным экспертным оценкам, реальная скорость

передачи данных составляет 30—65% от максимальной и абонентам не стоит рассчитывать на 70Мбит/с. Эту радиотехнологию подробнее Вам дадут в курсе «Передача данных в беспроводных сетях».

### ***Широкополосные радиосети WiFi***

Wi-Fi — технология организации беспроводной локальной сети с устройствами на основе стандартов IEEE 802.11. В рамках технологии получили развитие целое семейство стандартов и процесс этот продолжается.

Рассматривая эту технологию с точки зрения развертывания сети абонентского доступа можно сказать, что она относится к классу так называемых технологий «заплаточного типа» - то есть предоставление негарантированного доступа к отдельным услугам на незначительной территории в пределах двора (может чуть больше) и развертывать сеть операторского класса на ее базе не имеет смысла. Но она позволяет, что называется подхватить абонента.

Наилучший спектр применения этой технологии — это обеспечение мобильности абонентов в пределах ограниченных территорий. И применяя такой подход эта радиотехнология позволяет получить приемлемые результаты особенно в пределах закрытых объемов как раз обеспечивая абоненту свойство мобильности внутри — квартира, офис, выставка, метро или другой транспорт.

Операторы фиксированной связи на конкурентных рынках используют Wi-Fi как сервис с добавленной стоимостью и привлекают пользователей, расширяя свой бренд в домашнюю зону пользователей и помогая себе снижать или даже предотвращать отток пользователей к другим операторам-конкурентам.

Мобильные операторы используют точки доступа и радиодиапазоны стандарта Wi-Fi для прибавления спектра к тем ограниченным полосам, которые они имеют по лицензии. Фактически используются частотные каналы WiFi для расширения полосы оператором, у которого не хватает частот 2G/3G/4G. Мобильные операторы, особенно для пользователей смартфонов, существенно снижают риск оттока пользователей из-за недостаточной производительности мобильной сети по передаче данных. Wi-Fi помогает здесь реально. Значительным плюсом является и дополнительная возможность более эффективного управления перегрузками на их собственных сетях.

Эта технология получила значительное развитие именно благодаря точкам доступа и ограниченным сетям некоммерческого использования.

Аутентификация абонентов и операторские услуги на сетях Wi-Fi предоставляются традиционным для IP-сетей способом, а регистрация и доступ абонента в самой радиосети производится средствами и способами самой локальной радиосети.

В России разрешено использование оборудования Wi-Fi без получения частного разрешения на использование частот для организации сети внутри зданий, закрытых складских помещений и производственных территорий в полосах 2400—2483,5МГц (стандарты 802.11b и 802.11g,n; каналы 1—13) и 5150-5350МГц и 5650—6425МГц (802.11a и 802.11n; каналы 34-64) с допустимой мощностью излучения передатчика не более 100мВт для пользовательских устройств и устройств малого радиуса действия. В диапазоне 5150—5250МГц для устройств



малого радиуса действия максимальная эквивалентно изотропно излучаемая мощность передатчика повышена, но не более 200мВт;

Для легального использования внеофисной беспроводной сети Wi-Fi (например, радиоканала между двумя соседними домами) необходимо получение разрешения на использование частот (как в полосе 2,4ГГц, так и 5ГГц) на основании заключения экспертизы о возможности использования заявленных РЭС и их электромагнитной совместимости (ЭМС) с действующими и планируемыми для использования РЭС.

В Москве 29 февраля 2016 было принято решение об использовании в России частотного диапазона 57—66 ГГц (каналы 1-4) для устройств стандарта IEEE 802.11ad (WiGig — сети с радиусом примерно до 10м)

В стандарте 802.11ac WiFi реализована технология MU-MIMO (где MU обозначает multiuser), прежде бывшая отличительной чертой WiMAX/LTE. Отличие MU-MIMO в том, что сигнал не просто разделяется на поднесущие (для более высокоскоростной коммуникации с одним клиентом), но различные поднесущие частоты могут назначаться для формирования беспроводных каналов связи с разными клиентами базовой станции. Таким образом, возможен параллельный обмен данными с множеством оконечных устройств разом, естественно за счет сужения полосы для одного.

### ***Технологии сотовой связи***

Развитие сетей сотовой связи не прекращается. Разработчики и инженеры крупных компаний постоянно создают и отрабатывают новые решения способные повысить скорость и надежность передачи данных. Каждое новое поколение мобильных технологий связано с увеличением возможностей и с появлением качественно новых сервисов. Первое поколение (от англ. Generation) **1G** было полностью аналоговым и позволяло осуществлять только передачу голоса. Для современного человека аналоговая сотовой связь звучит несколько непривычно. Однако, во времена начала разработок в 1970-х годах о мобильном интернете тоже мало кто задумывался. Самые распространенные стандарты связи этого поколения - American AMPS, Nordic NMT, EuropeanTACS. Их запуск относится к концу 70-х началу 80-х годов. Сейчас они устарели и не представляют интереса.

Второе поколение мобильной связи **2G** стало полностью цифровым. Сюда относятся стандарты GSM, CDMA One, D-AMPS. В России и Европе популярность завоевал стандарт GSM (был принят в 1988г.). И сегодня сети этого стандарта, вместе с надстройками к нему, имеют самую большую площадь покрытия в мире. Для передачи данных к стандарту GSM была добавлена надстройка **GPRS** со скоростью передачи данных до 171,2кбит/с. Данную технологию выделяют в под стандарт **2.5G**. Позднее в 2003 году была реализована вторая надстройка **2.75G - EDGE** со скоростью до 474 кбит/с. В Америке и Азии популярность получил стандарт CDMAOne. Его эволюция привела к появлению технологии CDMA2000 1X со скоростью до 153 кбит/сек.

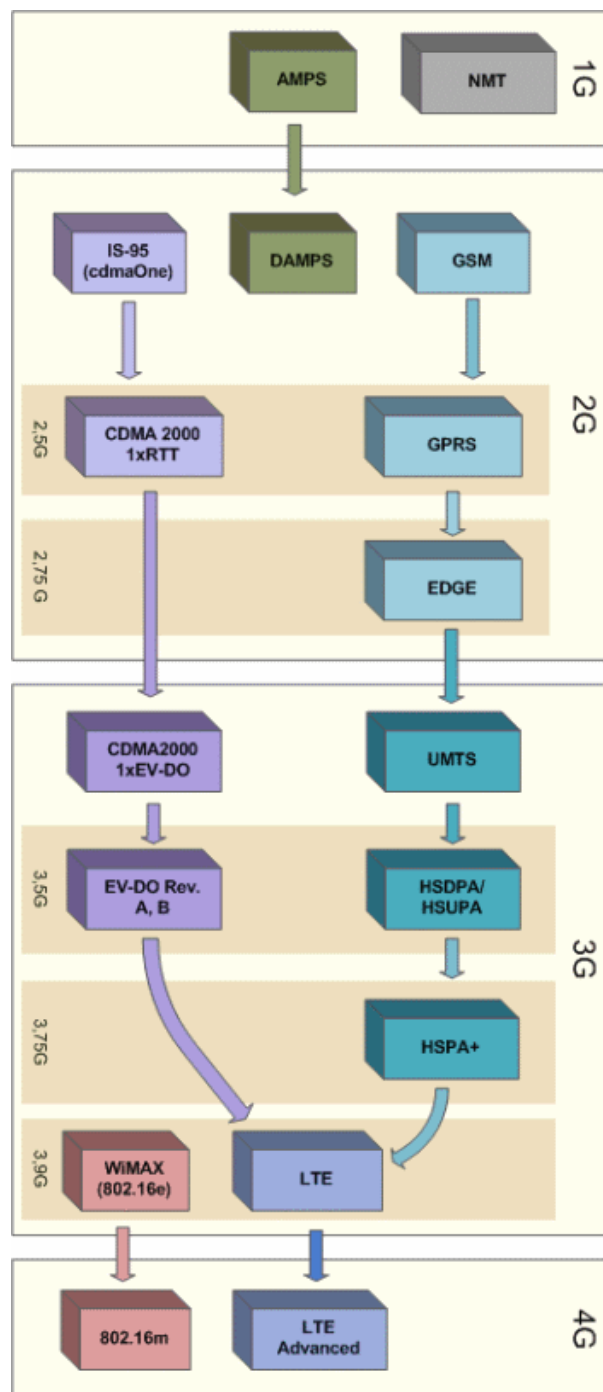


Рис. 14. Эволюция развития сотовой связи.

Поколение **3G** дало существенный прирост скорости передачи данных. Мобильные устройства позволяют не только совершать голосовые вызовы, но и полноценно использовать ресурсы сети Интернет. Европейские стандарты GSM/GPRS/EDGE эволюционируют в UMTS (или WCDMA). В базовом варианте стандарта предусмотрена скорость передачи данных от 384кбит/с до 2Мбит/с. По аналогии с 2G здесь также появляются надстройки увеличивающие скорость работы. Надстройка HSDPA/HSUPA выделяется в подстандарт **3.5G**. Скорость передачи возрастает до 14.4Мбит/сек. Появление HSPA+ **3.75G** использующего технологию MIMO позволило добиться скоростей 42.2Мбит/сек. Американский стандарт CDMA также получают развитие до CDMA EVDO Rev. A с возможностями передачи до 3.1 Мбит/сек и EVDO Rev.B со скоростью до 73.5Мбит/сек.

Поколение **4G** многие относят к 2008 году, когда организация 3GPP (Third Generation Partnership Project) утвердила стандарт LTE (Long Term Evolution). Однако официально в 2012г. к сетям 4G отнесли расширенную версию данного стандарта LTE Advanced, а также сети WiMax2. Сети нового стандарта могут быть реализованы на частотах от 700МГц до

2.7ГГц. Новый стандарт обеспечивает предельные скорости передачи данных на уровне 326,4Мбит/сек в сторону абонента и до 172.8Мбит/сек в направлении от пользователя к базовой станции. Сейчас абоненты сотовых сетей получают такие возможности, которые ранее могли предоставить только проводные операторы. При этом высокая конкуренция среди операторов не привела к повышению цен на Интернет-услуги при переходе от 3G к 4G.

**5G** — позиционируется как прорывная технология будущего. Прогресс не стоит на месте и сегодня в разных странах активно ведутся разработки сетей пятого поколения 5G. По заявлениям разработчиков начало тестирования было запланировано на 2017г., а появление первых сетей планируется к 2020 году. Международные организации по стандартизации ставят целью не только многократное увеличение скорости передачи до 10Гбит/сек, но и кардинальное повышение надежности сетей нового поколения. Речь ведется не только о мобильной связи, но и о внедрении технологии в такие ответственные задачи как медицина, энергетика, автомобилестроение и прочая-прочая.

#### **4G - LTE - Long Term Evolution**

4G - LTE (Long Term Evolution – долгосрочная эволюция) – технология высокоскоростного мобильного доступа в Интернет. После появления первых спецификаций этой технологии (март, 2009), коммерческие и тестовые сети LTE стали разворачиваться операторами сотовой связи по всему миру.

Стандарт LTE (E-UTRA) обладает рядом существенных преимуществ. С появлением сетей LTE исчезли различия между сетями сотовой связи (GSM, UMTS, CDMA-2000) и сетями радиодоступа семейства IEEE 802.X: 802.11 (Wi-Fi) и 802.16 (WiMAX). Фактически стандарты 3G поколения GERAN (модернизированный GSM) и UTRAN в своих аббревиатурах позиционируют себя как сети радиодоступа – Radio Access Network. Это означает, что пользовательское оборудование может быть любым – от компактных мобильных телефонов (“трубок”) до персональных компьютеров различной производительности. Скорости в десятки мегабит/с в полосе 20 МГц реализованы в сетях Wi-Fi и WiMAX. В сетях LTE Rel.8 полоса рабочих частот достигает 20 МГц, и это позволяет получить скорости, что и в сетях WiMAX. Но в отличие от сетей WiMAX сети LTE имеют выход на существующую инфраструктуру сотовых сетей и, прежде всего, на глобальную сеть GERAN/UMTS. Абоненты LTE получают услуги глобального роуминга, а при использовании многостандартных терминалов GERAN/UMTS/LTE обслуживание в тех местах, где сети LTE пока не развернуты.

Стандарт LTE объединяет целый набор передовых технологий. На физическом уровне в LTE реализована технология OFDM, обеспечивающая высокие скорости передачи в радиоканалах с многолучевым распространением радиоволн. На уровне соединений (L2) и сетевом уровне (L3) за основу взяты протоколы стандарта UTRA (UMTS) при высокоскоростной передаче трафика с коммутацией пакетов. Следующая версия стандарта LTE-A (Advanced) Rel.10, 11 обеспечивает повышение качества услуг и увеличение скоростей до сотен М/сек. Для достижения подобных скоростей в LTE-A используют совместно 2 технологии:

- расширение полосы передаваемого сигнала за счет агрегации рабочих полос,
- пространственное мультиплексирование передаваемых сигналов.

Ряд ключевых особенностей делает LTE привлекательной технологией для операторов и пользователей – использование MIMO, OFDMA/SC-FDMA на радиоинтерфейсе значительно повышает спектральную эффективность, увеличивает скорость передачи данных; flat и all-IP-архитектура, оптимизированная под передачу пакетных данных значительно снижает время отклика сети (latency), что позволяет говорить о развитии click-bang-услуг, а также о динамическом управлении качеством обслуживания (QoS).

Теоретическим скоростным пределом является 326.4Мбит/с в нисходящем направлении (от базовой станции к абоненту) и 172.8Мбит/с – в восходящем (от абонента к базовой станции). Американский сотовый оператор Verizon Wireless, протестировав реальную сеть LTE, получил 40-50Мбит/с в нисходящем и 20-25Мбит/с – в восходящем канале. Компания «Скартел» после запуска своей первой LTE-сети в Новосибирске продемонстрировала максимальную скорость 20Мбит/с в нисходящем направлении и 9Мбит/с – в восходящем. Рассмотрим особенности этой технологии.

### Радиоинтерфейс 4G-LTE

В системах LTE используются два основных метода дуплексной связи: дуплекс с частотным разделением (FDD) и дуплекс с временным разделением (TDD). Применяются и другие варианты, в т.ч. FDD с половинной скоростью. При этом интеграция режимов FDD и TDD в LTE значительно ближе, чем это было в UMTS. Схема передачи в сторону абонента использует множественный доступ с ортогональным делением частот (OFDMA), а для передачи в сторону базовой станции применяется новая схема передачи, получившая название SC-FDMA. Эта новая схема объединила черты как традиционной схемы с одной несущей, так и схемы OFDM.

Множественный доступ в нисходящем канале LTE достигается за счет применения тщательно доработанной версии OFDM, получившей название множественного доступа с ортогональным разделением частот (OFDMA). Данный метод позволяет закреплять отдельные поднесущие за разными пользователями. Это облегчает обслуживание многих абонентов, работающих с низкими скоростями, а также позволяет использовать частотные скачки для смягчения эффектов узкополосного многолучевого распространения.

При этом весь имеющийся спектр разбивается на ортогональные поднесущие по 15кГц (в нисходящем канале), каждая из которых в свою очередь модулируется определенным видом модуляции (от QPSK до QAM64). 12 поднесущих – минимальная полоса, выделяемая для одного абонента. Очевидно, что использование многопозиционных методов модуляции требует каналов с высоким уровнем отношения сигнал/шум, ухудшение же радиоусловий приведет к снижению порядка модуляции, а, соответственно, и скорости передачи данных. Таким образом, при плохих радиоусловиях максимальные скорости передачи данных в нисходящем канале можно смело разделить на 3 (при QPSK одновременно передаются 2 бита информации, при QAM64 – 6 бит).

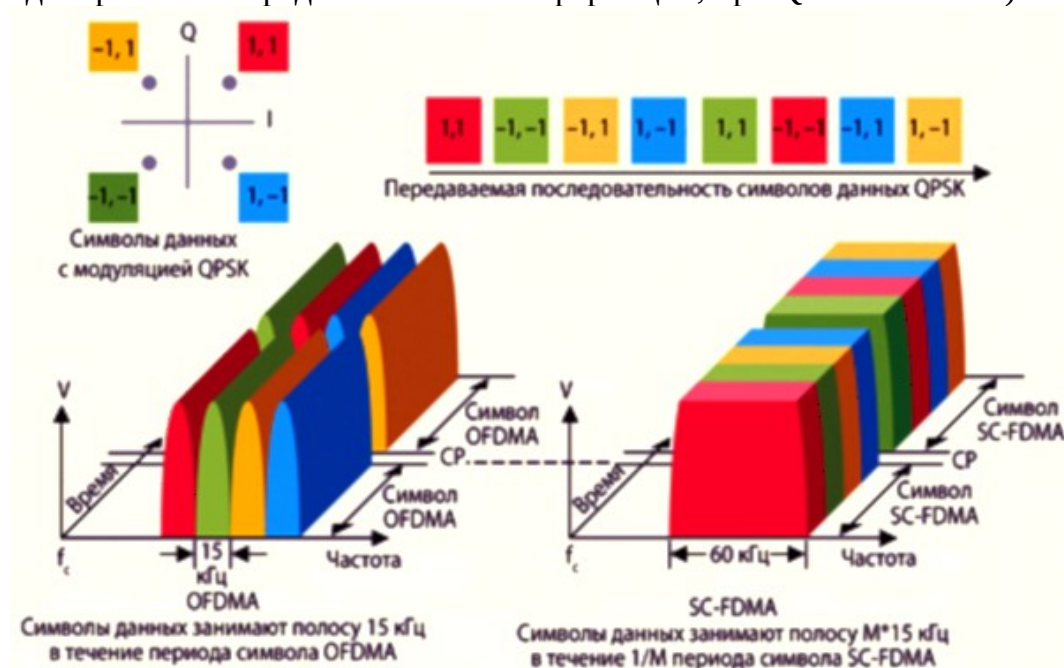


Рис. 15. Передача данных OFDMA и SC-FDMA технологиями.

На рисунке 15 показано, как OFDMA и SC-FDMA передают последовательность из восьми символов QPSK. В этом примере число поднесущих было сокращено до четырех. Для OFDMA четыре символа обрабатываются параллельно, причем каждый из них модулируется собственной поднесущей с соответствующей фазой QPSK. Каждый символ данных занимает полосу 15 кГц на время передачи одного символа OFDMA, которое равно 66,7 мкс. В начале следующего символа OFDMA вставляется защитный интервал, содержащий циклический префикс (CP). CP представляет собой копию конца символа, добавленную к началу символа. Благодаря параллельной передаче, символы данных имеют ту же длину, что и символ OFDMA.

В случае SC-FDMA символы данных передаются последовательно. Поскольку в данном примере используются четыре поднесущих, за один период символа SC-FDMA передаются четыре символа данных. Период символа SC-FDMA имеет ту же длину, что и символ OFDMA, т.е. 66,7 мкс, но благодаря последовательной передаче символы данных получаются короче, т.е. равными  $(66,7/4)$  мкс. В связи с повышением скорости следования символов для их передачи требуется более широкая полоса. В результате каждый символ занимает в спектре 60 кГц, а не 15 кГц, как было в случае более медленных символов, используемых в OFDMA. После передачи четырех символов данных вставляется CP.

Агрегация полос позволяет увеличить суммарную полосу до  $5 \times 20 = 100$  МГц. Пространственное мультиплексирование MIMO предоставляет возможность одновременно передавать в одном частотном канале до 8 различных потоков данных. В результате скорости передачи в радиоканале возрастают на порядок.

Еще одно существенное отличие сетей LTE то, что в спецификации заложена неоднородность их структур. Кроме макро, микросот и пикосот в зданиях и зонах предполагается широкое использование фемтосот (мощность передатчика до 20 мВт) – домашних базовых станций аналогичных точкам доступа в сетях Wi-Fi. При этом появляется возможность высококачественного обслуживания абонентов, находящихся в помещениях, что создает конкурентную среду с другими сетями радиодоступа. Улучшению связи способствует использование прописанных в спецификациях релейных станций LTE и то, что все интерфейсы, кроме радиоинтерфейса, построены на основе IP-протокола - сети LTE являются all-IP сетями.

Сети стандарта E-UTRAN (LTE) предназначены для обмена пакетным трафиком между абонентами сетей радиодоступа и для доставки пакетов на абонентский терминал с интернет-серверов. Структура сети LTE представлена на рис. 16.

Сеть радиодоступа E-UTRAN состоит из узлов базовых станций eNB (E-UTRAN NodeB или eNodeB), где соседние eNB соединены между собой интерфейсом X2. Ядро сети EPC (Evolved Packet Core) (рис. 16) состоит из обслуживающего шлюза S-GW (Serving Gateway), шлюза для выхода на пакетные сети PDN GW (Packet Data Network Gateway), структуры управления по протоколу Mobility Management MME (Mobility Management Entity), связанной с S-GW и eNodeB сигнальными интерфейсами. На рис. 16 соединения для передачи данных показаны толстыми линиями, сигнальные соединения – тонкими.

UE (абонентский терминал) подключенный к сети LTE, может находиться в состоянии *CONNECTED (ACTIVE)* или в состоянии *IDLE*. В состоянии *CONNECTED* идет обмен сообщениями (как сигнальными, так и пакетами данных) по радиоинтерфейсу. В состоянии *IDLE* станция переводится на время пауз в сеансе связи. В этом состоянии абонент сохраняет свой IP-адрес, сеть поддерживает абонентские базы данных, а местоположение абонента определено с точностью до зоны слежения Tracking Area.

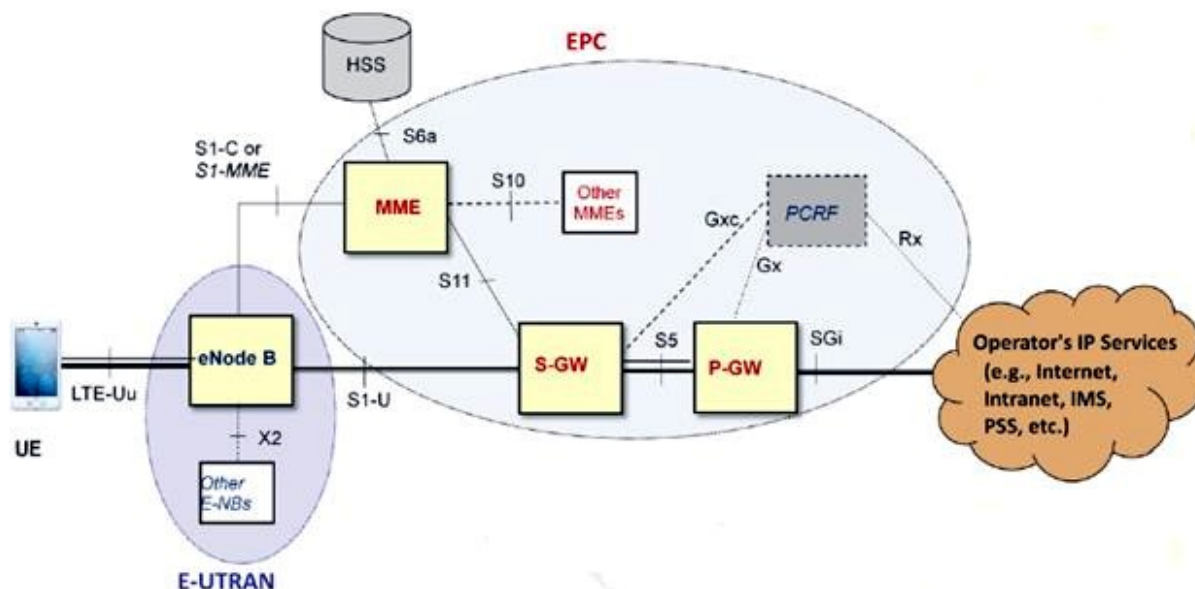


Рис. 16. Обобщенная структура сети LTE.

Сеть включает в себя мобильные терминалы (UE – User Equipment), сеть радиодоступа **E-UTRAN (Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network)** и новое ядро сети **Evolved Packet Core (EPC)**. Для обслуживания абонентов сеть имеет выход на сети с предоставлением услуг по IP-протоколу и на домашние сети абонентов (HSS – Home Subscriber Server).

eNB подключены к EPC посредством интерфейса S1. При этом интерфейс S1 в пользовательской плоскости S1-U (User Plane) непосредственно замыкается на обслуживающий шлюз S-GW (Serving Gateway), в то время как сигнальная часть интерфейса S1-C (Control Plane) следует на MME – Mobility Management Entity.

**eNB** объединяет в себе функции базовых станций и контроллеров сетей 3-го поколения. Для каждого активного абонента в eNB открыта база данных и eNB

- обеспечивает передачу трафика и сигнализации в радиоканале,
- управляет распределением радиоресурсов,
- обеспечивает сквозной канал трафика к S-GW,
- выбирает обслуживающий MME,
- поддерживает синхронизацию передач и контролирует уровень помех в соте,
- обеспечивает шифрацию всех пользовательских сообщений и целостность передачи сигнализации по радиоканалу,
- выбирает MME и организует сигнальный обмен с ним,
- производит обработку данных и сигнализации на уровне L2,
- организует хэндоверы,
- поддерживает услуги мультимедийного вещания.

#### **MME:**

- ведет базы данных абонентов, зарегистрированных в сети,
- выбирает S-GW и PDN GW при подключении абонентов к сети,
- обеспечивает передачу и защиту сигнализации NAS (Non Access Stratum) по протоколам MM (Mobility Management) SM (Session Management) между MME и UE,
- обеспечивает локализацию, аутентификацию и авторизацию абонентов,
- участвует в организации межсетевых связей и хэндоверов,
- организует вызовы UE, находящихся в состоянии IDLE,
- ведет сигнальный обмен с eNB при организации сквозных каналов.

Каждому UE, зарегистрированному в сети, предоставляется один Serving Gateway - S-GW – обслуживающий шлюз:

- выполняет функции “якоря” в визитной сети, маршрутизируя трафик при перемещениях UE в состоянии CONNECTED от одного eNB к другому (хэндовере),
- ведет базу данных абонентов, зарегистрированных в сети,
- участвует в организации сквозных каналов с eNB и PDN GW, а также сигнальных соединений с MME при регистрации абонента в сети и при выполнении процедуры локализации,
- предоставляет учетные данные для тарификации и оплаты выполненных услуг.

#### **PDN GW:**

- является “якорем” при подключении к внешним IP-сетям; ведет базу данных абонентов, подключенных к нему,
- организует точку доступа к внешним IP-сетям,
- активизирует статический IP-адрес абонента; если абонент должен получить на время сеанса связи динамический IP-адрес, PDN GW запрашивает его с сервера DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) или сам выполняет необходимые функции DHCP, после чего обеспечивает доставку IP-адреса абоненту,
- обеспечивает качественные характеристики услуг на внешнем соединении через интерфейс SGi и фильтрацию входящих пользовательских пакетов данных,
- организует сквозные каналы и сигнальные соединения между S-GW PDN GW,
- устанавливает требуемые качественные характеристики сквозных каналов на основе установок, полученных от PCRF, в том числе максимальные и минимальные скорости передачи данных в сквозных каналах в соответствии с качественными характеристиками передаваемого трафика QCI (QoS Class Identifier),
- ведет учёт предоставленных абонентам услуг.

PDN GW находится в домашней сети абонента, а S-GW, MME и eNB – в визитной. Если абонента обслуживает домашняя сеть, то PDN GW и S-GW связаны интерфейсом S5, если S-GW находится в визитной сети, а PDN GW в домашней, то между ними интерфейс S8, представляющий собой межсетевой вариант S5.

#### **PCRF**

Policy and Charging Resource Function (PCRF) представляет собой управляющий сервер, обеспечивающий централизованное управление ресурсами сети, учет и тарификацию предоставляемых услуг. При появлении запроса на новое активное соединение, эта информация поступает на PCRF. Он оценивает имеющиеся в его распоряжении ресурсы сети и направляет в PCEF (Policy and Charging Enforcement Function) шлюза PDN GW команды, устанавливающие требования к качеству услуг и к их тарификации. PCRF находится в домашней сети абонента. Согласно спецификациям PCRF является опциональным узлом, но операторы строят сети с PCRF.

**HSS** – Home Subscriber Server, обеспечивает выполнение процедур безопасности в сети LTE, исполняя функции HLR и AuC в сетях GSM/UMTS. HSS поддерживает сигнальную сеть IMS при организации услуг. MME имеют прямой выход на HSS через интерфейс S6a по протоколу Diameter.

Так как сеть LTE является IP-сетью все элементы сети LTE имеют локальные IP-адреса. Структура интерфейса S1 в плоскости управления — радиоканал - S1-AP — стык (Ethernet) — IP — SCTP(организация туннеля).

Сигнальные сообщения по S1 (S1 – Control Plane) передаются между eNB и MME. Подуровни L2 SCTP (Stream Control Transmission Protocol) и IP поддерживают стандартный транспорт для передачи сигнальных сообщений. В частности, SCTP обеспечивает надежность передачи и последовательность доставки сообщений.

В пользовательской плоскости S1 (S1 - User Plane) для обмена пакетами между eNB и S-GW используют **туннельное соединение**. Структура туннеля — **радиоканал - S1-AP — стык (Ethernet) — IP — UDP-GTP-U(туннель)**.

Формат пакета — **IP—UDP—GTP---IP--TCP/UDP--Данные** - состоит из трех подзаголовков трех подуровней туннельного протокола, содержащих:

- IP – локальные IP-адреса функциональных узлов, между которыми организован туннель;
- UDP – номера портов в соответствующих функциональных узлах;
- GTP – идентификатор собственно туннеля, помеченный его конечной точкой TEID (Tunnel Endpoint Identifier).

TEID – 32-битовое двоичное число, выделяемое при организации туннеля приемной стороной. При создании двунаправленных туннельных соединений на интерфейсе S1 между eNB и S-GW, фактически организуют 2 туннеля, один из которых имеет TEID в eNB для передачи пакетов трафика вниз, а другой в S-GW для передачи вверх. Туннельный протокол используют для передачи трафика и на интерфейсе S5/S8. В сетях LTE туннели организуют не только для передачи пакетов трафика, но и сигнализации. Сигнальные туннели реализованы на интерфейсах S5/S8 и S11.

После подключения к сети абонентского устройства, для абонента открывают базы данных в MME, S-GW и PDN GW, организуя туннельные соединения на интерфейсе S5/S8. При этом абоненту, имеющему индивидуальный системный номер IMSI (International Mobile Subscriber Identity), MME назначает временный номер M-TMSI (MME Temporary Mobile Subscriber Identity) длиной 32 бита. В сети E-UTRAN UE может находиться в двух состояниях: *ECM\_CONNECTED* и *ECM\_IDLE*[2]. В состоянии *CONNECTED (ACTIVE)* активизировано соединение на радиоинтерфейсе между UE и eNB, в обслуживаемом eNB открыта база данных UE, и организованы сквозные каналы на интерфейсе S1 для передачи сигнализации или трафика. Местоположение абонента известно с точностью до соты, а при перемещении абонента от одного eNB к другому происходит процедура хэндовера. В перерывах передачи трафика по радиоканалу сеть переводит UE в состояние *IDLE*. В этом состоянии сохраняются базы данных абонента в MME, S-GW, PDN GW и туннели на интерфейсах S5/S8 и S11. UE в состоянии *IDLE* локализована с точностью до **зон слежения** (Tracking Area). Зона слежения – это группа сот, через которые передают одновременно сигналы пейджинга (вызова по радиоканалу при поступлении входящего трафика).

Перемещаясь по сети в состоянии *IDLE*, UE прослушивает сигналы eNB, совершая **процедуру реселекции сот**, т.е. переключаясь на eNB с наиболее сильным сигналом. При переключении на eNB, расположенном в зоне, отсутствующей в списке, UE запускает **процедуру локализации**. При этом происходит обновление базы данных абонента в MME, а абонент получает новый временный номер M-TMSI.

Для увеличения ширины полосы в LTE Rel.10 работает технология агрегации полос. Это значит, что одновременно с передачей в базовой полосе частот появляется возможность вести одновременно передачу еще в нескольких полосах но не более 5-ти. При этом в каждой новой полосе формируют индивидуальный сигнал OFDM, где поднесущие номеруют от 1 до максимальной. Это означает, что передают несколько независимых сигналов, которые могут принимать как один так и группа терминалов. Повторную передачу непринятых пакетов также осуществляют независимо в каждой полосе. Агрегировать можно полосы разной ширины (5, 10, 20МГц), причем число присоединенных полос вниз и вверх может быть разным (асимметричный трафик), но число полос вверх не может быть больше их числа вниз. Оператор может выбирать полосы из одного диапазона (подряд или с промежутками) или из разных диапазонов.

Мобильные терминалы, начиная с LTE Rel.10, должны поддерживать такие режимы.



HSS в LTE реализует функции базовой сети и обеспечивает совместимость 4G и 3G (3GPP) сетей. Напомним, как это работает.

Оборудование подсистемы коммутации состоит из центра коммутации подвижной связи MSC, регистра положения HLR, регистра перемещения VLR, центра аутентификации AuC и регистра идентификации оборудования EIR. Центр коммутации подвижной связи обслуживает группу сот и обеспечивает все виды соединений, в которых нуждается абонентская станция в процессе работы. Он представляет собой интерфейс между сетью подвижной связи и фиксированными сетями, такими как телефонная сеть общего пользования PSTN, сети пакетной передачи PDN, цифровые сети с интеграцией служб ISDN, и обеспечивает маршрутизацию вызовов и функцию управления вызовами. Кроме этого, на MSC возлагаются функции коммутации радиоканалов, к которым относятся эстафетная передача, обеспечивающая непрерывность связи при перемещении абонентской станции из соты в соту, и переключение рабочих каналов в соте при появлении помех или неисправностей. Центр коммутации осуществляет постоянное слежение за абонентскими станциями, используя регистры положения и перемещения. В регистре положения хранится та часть информации о местоположении какой-либо подвижной станции, которая позволяет центру коммутации доставить вызов. Этот регистр содержит международный идентификационный номер подвижного абонента (IMSI), который используется для опознавания абонентской станции в центре аутентификации (AuC).

Регистр перемещения VLR - это второе основное устройство, обеспечивающее контроль за передвижением абонентской станции из соты в соту. С его помощью достигается функционирование подвижной станции за пределами контролируемой регистром положения зоны. Когда в процессе перемещения подвижная станция переходит из зоны действия одного контроллера базовых станций в зону действия другого, то она регистрируется последним, т.е. в регистр перемещения VLR заносится новая информация. Для сохранности данных, находящихся в регистрах положения и перемещения, в случае сбоев предусмотрена защита запоминающих устройств этих регистров.

Каждая абонентская станция имеет свой международный идентификационный номер (IMSI), записанный в ее памяти. Каждой абонентской станции присваивается еще один международный идентификационный номер IMEI, который используется для исключения доступа к сетям GSM с помощью похищенной станции или станции, не обладающей такими полномочиями.

Оборудование подсистемы базовых станций состоит из контроллера базовых станций BSC и собственно базовых станций BTS. Один контроллер может управлять несколькими станциями. Он выполняет следующие функции: управляет распределением радиоканалов; контролирует соединения и регулирует их очередность; обеспечивает режим работы с «прыгающей» частотой, модуляцию и демодуляцию сигналов, кодирование и декодирование сообщений, кодирование речи, адаптацию скорости передачи речи, данных и сигналов вызова; определяет очередность передачи сообщений персонального вызова.

В стандарте 3GPP (GSM) используется узкополосный многостанционный доступ с временным разделением каналов.

Основные характеристики стандарта GSM:

- частоты передачи мобильной (UE) и приема базовой станции (BS) 890-915 МГц;
- частоты приема мобильной UE и передачи базовой станции BS 935-960 МГц;
- ширина полосы одного канала  $Dfk=200$  кГц;
- ширина полосы системы 50 МГц;
- максимальное количество радиоканалов – 124;
- максимальное количество радиоканалов в BS — 16 -20;

- количество речевых каналов на несущей - 8;
- алгоритм преобразований речи – RPE-LTP;
- скорость преобразования речи – 13 Кбит/с;
- скорость передачи информации – 270 Кбит/с;
- вид модуляции – 0,3 GMSK;
- радиус соты –5-35 км;
- мощность передачи: BS - 44 Вт (13 дБ\*Вт), UE – 1 Вт (3 дБ\*Вт).

В полосе 25МГц (см. рис. 17) организует 120 несущих частот и TDMA - временное разделение на 1 несущей частоте организуется 8 временных окон — каждое обозначается номером от 0 до 7, т. е. в одном кадре одновременно могут передаваться 8 речевых каналов..

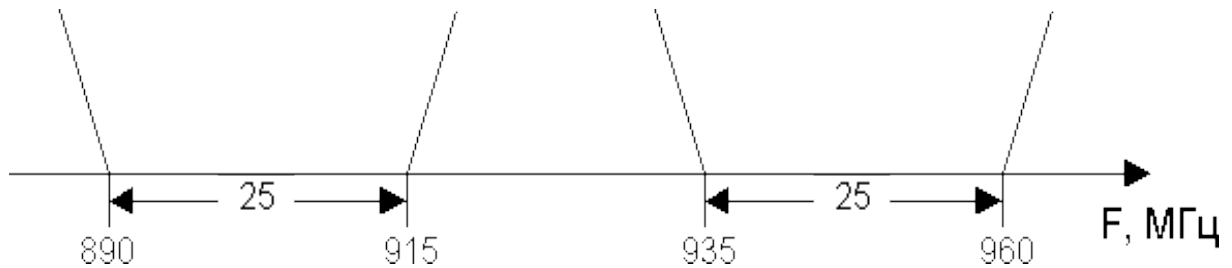


Рисунок 17. Реализация FDD в GSM (дуплексный разнос частот передачи и приема).

Цифровой информационный поток представляет собой последовательность пакетов, размещаемых в этих временных интервалах (окнах). Пакеты формируются немного короче, чем интервалы, их длительность составляет 0,546мс, что необходимо для приема сообщения при наличии временной дисперсии в канале распространения. Общая длительность одного TDMA-кадра составляет 4,615мс.

Одной из особенностей формирования сигналов в стандарте GSM является использование медленных скачков по частоте в процессе сеанса связи – SFH (Slow Frequency Hopping). Главное назначение таких скачков – обеспечение частотного разнесения в радиоканалах, функционирующих в условиях многолучевого распространения радиоволн. Медленные скачки частоты используются во всех подвижных сетях, что повышает эффективность кодирования и перемежения при медленном движении абонентских станций.

Принцип формирования медленных скачков по частоте состоит в том, что сообщение, передаваемое в выделенном абоненту временном интервале TDMA-кадра 0,577мс, в каждом последующем кадре передается (принимается) на новой фиксированной частоте, рисунок 18. В соответствии со структурой кадров, время для перестройки частоты составляет около 1мс.

В процессе скачков по частоте постоянно сохраняется разнос 45МГц между каналами приема и передачи. Всем активным абонентам, находящимся в одной соте, ставятся в соответствие непересекающиеся последовательности переключения частот, что исключает взаимные помехи при приеме сообщений абонентами. Параметры последовательности переключений частот (частотно-временная матрица и начальная частота) назначаются для каждой абонентской станции в процессе установления канала связи.

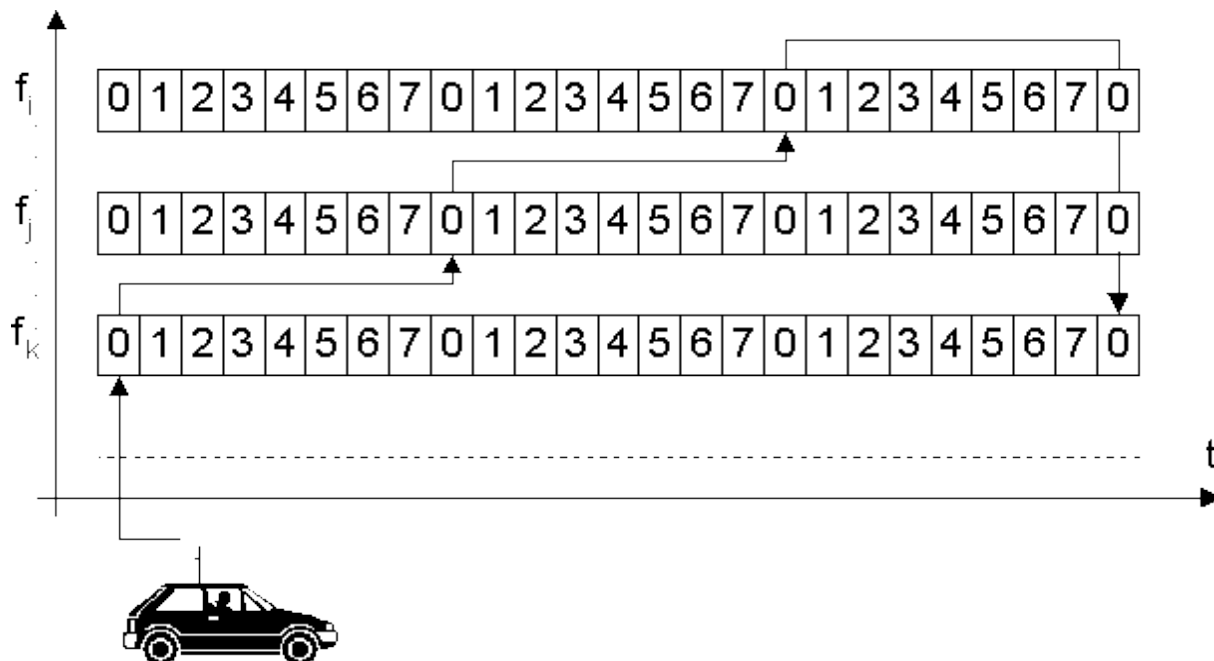


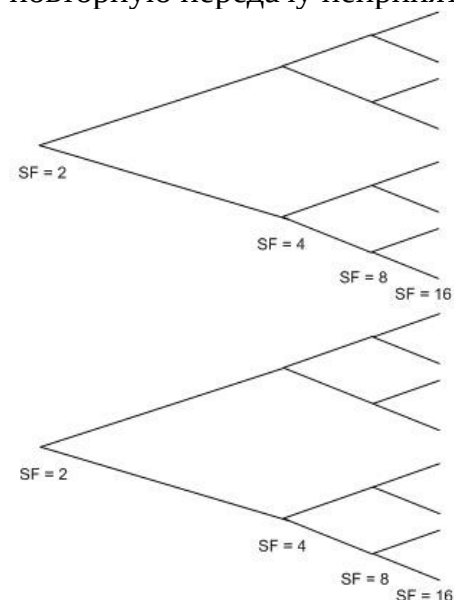
Рисунок 18. Принципы формирования медленных скачков по частоте  
*Шифрование*

Сигналы цифрового информационного потока подвергается шифрованию сообщения по алгоритму шифрования с открытым ключом (RSA) для обеспечения безопасности передачи сообщений. Алгоритм шифрования с открытым ключом RSA заключается в том, что каждое сообщение  $M$  разбивается на блоки фиксированной длины, и каждый блок кодируется как совокупность фиксированного числа цифр. Такой алгоритм обеспечивает высокую степень безопасности при передаче речи и исключает возможность извлечения информации из канала связи кому-либо, кроме санкционированного пользователя. На приеме сообщение расшифровывается в дешифраторе.

Алгоритм ключа шифрования хранится в модуле SIM.

### *Передача данных в 3G - HSDPA*

Технологию HSDPA используют большинство операторов на всех разворачиваемых сетях UMTS. Технологии высокоскоростной передачи данных вниз (HSDPA – High Speed Downlink Packet Access) и вверх (HSUPA - High Speed Uplink Packet Access) во многом близки к пакетной передаче данных, применяемой в стандарте GSM с использованием технологии GPRS/EDGE. Передачу осуществляют отдельными пакетами, применяя в зависимости от состояния трассы различные модуляционно-кодирующие схемы и повторную передачу непринятых пакетов.



Организацию соответствующих каналов при HSDPA поясняет схема слева. В HS-DSCH отсутствуют две основные особенности CDMA, а именно, изменяемый коэффициент расширения спектра (variable SF) и быстрое управление мощностью; они заменены на адаптивную модуляцию и кодирование: Adaptive Modulation and Coding (AMC), короткий размер пакета, мультикодовый режим и автоматический повтор запроса L1 Hybrid Automatic repeat request (HARQ) — гибридный автоматический алгоритм гарантированной доставки пакетов данных с использованием перезапросов. Замена быстрого управления мощности на AMC дает эффективный

выигрыш в мощности благодаря исключению расходов на управление мощностью. Коэффициент расширения спектра зафиксирован на SF=16, что дает хорошее разрешение скорости. Для того чтобы увеличить канальную скорость адаптации и эффективность АМС, размер пакета был уменьшен с 10-20мс до 2мс, что соответствует трем TS. Для уменьшения задержек в управлении каналом, выполнение части функций на уровне MAC для HS-DSCN перенаправлено базовой станции Node B.

В HS-DSCN применяют турбокодирование, но добавляют согласование скоростей (rate matching), перфорацию (puncturing) и повторение (repetition), чтобы получить высокое разрешение кода при его эффективной скорости. Для получения высоких пиковых скоростей используют модуляцию 16-QAM. При сочетании 16-QAM и канального кодирования со скоростью  $R_{\text{код}} = 3/4$  достигают пиковой скорости передачи данных 712кбит/с на код (SF =16). В наиболее помехозащищенном варианте передачи используют 4-ФМ со скоростью кодирования 1/4, но при этом скорость передачи данных падает до 119кбит/с на код. Комбинация модуляции и кодирования определяет транспортный формат (transport format) совместно с канальным ресурсом (resource combination – TFRC). Пять возможных вариантов TFRC показаны в табл. 5.

Для повышения скорости передачи одному абоненту можно выделять несколько кодов-каналов, максимально 15:  $C_{\text{ch},16,1} \dots C_{\text{ch},16,15}$ . Ветвь  $C_{\text{ch},16,0}$  для канала HS-DSCN не занимают; в ней размещены вещательные, общие каналы управления и вспомогательные каналы, необходимые для реализации HSDPA.

При выделении 15 кодов одному пользователю можно достичь пиковой скорости 10,7Мбит/с (14,4Мбит/с) Это максимальная скорость, которую можно получить при исключительно благоприятных условиях приема и при наличии соответствующей мобильной станции (значительно влияет производительность).

Таблица 5. Варианты TFRC в реализации HSDPA.

TFRC	Модуляция	Эффективная скорость кода	Скорость данных (1 код)	Скорость данных (5 кодов)	Скорость данных (15 кодов)
1	4-ФМ	1/4	119кбит/с	0,6Мбит/с	1,8Мбит/с
2	4-ФМ	1/2	237кбит/с	1,2Мбит/с	3,6Мбит/с
3	4-ФМ	3/4	356кбит/с	1,8Мбит/с	5,3Мбит/с
4	16-КАМ	1/2	477кбит/с	2,4Мбит/с	7,2Мбит/с
5	16-КАМ	3/4	712кбит/с	3,6Мбит/с	10,7Мбит/с

Выбор скорости передачи (TFRC) и числа кодов для конкретного абонента BS производит, анализируя сообщения, поступающие от UE по выделенным каналам управления HS-DPCCH. Между BS и всеми UE работает канал обратной связи в реальном времени. UE постоянно измеряют отношение сигнал/помеха ( $E_s/N_0$ ), меняющееся во времени из-за перемещения абонента и замираний сигнала, и сообщает BS, исходя из возможностей самой станции, о максимально допустимой скорости передачи информации вниз. На рис. 19 верхняя кривая – результат измерения отношения ( $E_s/N_0$ ) в UE. Нижняя кривая – соответствующий этим измерениям TFRC, с которым UE готова принимать пакеты. BS выбирает для передачи пакетов конкретной UE моменты наилучших условий приема, что повышает общую пропускную способность сети и снижает задержки при передаче.

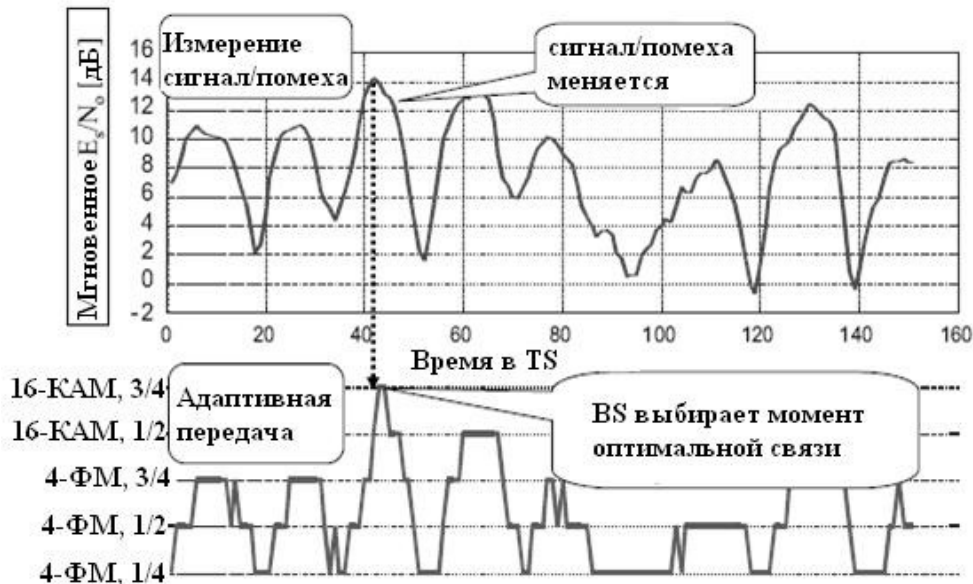


Рис. 19. Адаптивное управление изменением скорости передачи

Зависимость между доступной скоростью передачи данных и мгновенным значением  $E_S/N_0$ , а также динамический диапазон AMC показаны на рис. 20. На графиках учтен выигрыш от быстрого HARQ, который значительно улучшает пропускную способность при малых значениях  $E_S/N_0$ .

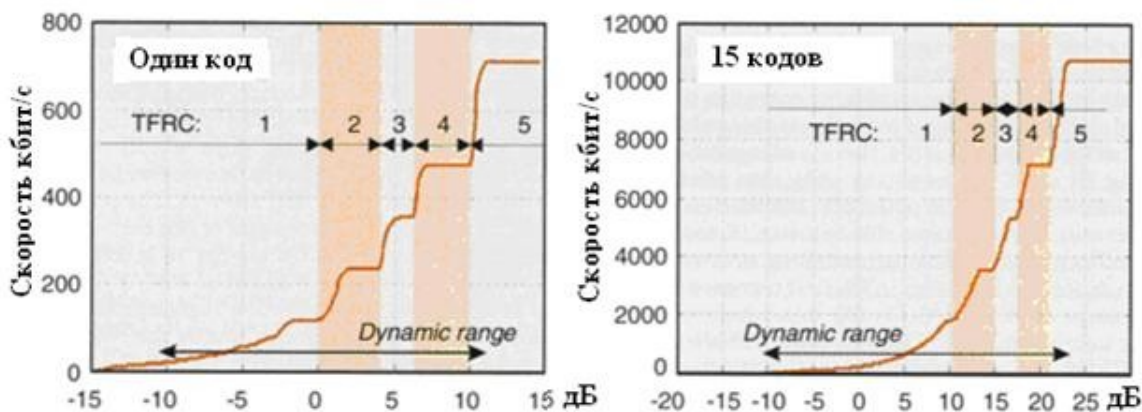


Рис. 20. Динамический диапазон HSDPA AMC (Rake приемник, скорость 3 км/ч)

Как видно из рис. 20, диапазон  $E_S/N_0$  при изменении скорости от 32кбит/с (TFRC 1) до 712кбит/с (TFRC 5) составляет 20дБ. С увеличением числа выделенных кодов требования к отношению ( $E_S/N_0$ ) ужесточаются. Динамический диапазон AMC при 15 мультикодах достигает 32дБ.

Протокол HARQ, выбранный для HSDPA, основан на принципе остановки stop и ожидания wait (SAW). При SAW базовая станция продолжает осуществлять передачу текущего блока, пока этот блок не будет успешно получен UE. Для того чтобы использовать время до повторной передачи, промежутки заполняют другими пакетами. На практике задержка между исходной и первой повторной передачей порядка 8-12мс. Управление повторной передачей осуществляет базовая станция NodeB. Таким образом, технология HSDPA позволяет использовать продвинутую стратегию повторной передачи с меньшими задержками и большей спектральной эффективностью даже для потокового сервиса, сильно чувствительного к задержкам.

## Технологии переходного этапа 2G-3G

### HSCSD

Классические сети GSM позволяют передавать данные в каналах со скоростями не более 9,6 или 14,4 кбит/с. Для повышения скорости ПД разработана технология HSCSD, основанная на выделении абоненту не одного, а нескольких временных интервалов (ВИ) в кадре. Теоретически при занятии всех 8 ВИ можно достичь скорости  $8 \cdot 14,4 = 115,2$  кбит/с. Но из-за ограничений в работе действующих MSC и линий связи, соединяющих BTS, BSC и MSC, скорость обычно не превышает  $4 \cdot 14,4 = 57,6$  кбит/с. Помимо этого, существует ограничение и возможности мобильного телефона. Так при занятии для приема и передачи в сумме более 5 ВИ, MS должна иметь возможность принимать и передавать одновременно, что существенно усложняет MS. Исходя из возможностей многосотовой работы, MS разделены на 29 классов. Класс существующих на рынке аппаратов, как правило, не превышает 10. Для 10 класса общее число тайм-слотов (TS), используемых для передачи и приема, не может быть более 5. При этом возможны режимы работы 4/1 или 3/2.

Этой скорости достаточно для передачи видеотелефонии, видеоконференций или Интернета, но при посещении интернет-ресурсов информационные пакеты разделены значительными, неопределенными по времени промежутками. Применение HSCSD в этом случае очень расточительно, поскольку за пользователем закрепляют дуплексный канал на весь промежуток сеанса связи. Из-за пауз при передаче каналный ресурс расходуют нерационально, что уменьшает число обслуживаемых абонентов. Сеанс связи получается длинным, дорогим и может неожиданно прерываться. В связи с этим основным методом передачи данных в сети GSM является технология GPRS (с коммутацией пакетов), в которой возможности работы в многосотовом режиме реализуются проще.

### GPRS

Подсистема GPRS является «наложенной» на подсистему коммутации классической GSM и имеет следующие основные особенности:

- GPRS поддерживает протоколы пакетной передачи данных, а именно, IP (Internet Protocol) и X.25.
- Физический каналный ресурс выделяют группе пользователей; занятие канала производят по мере поступления пакетов в соответствии с качеством услуг QoS, предоставляемых абоненту; каждый пакет содержит идентификатор абонента и предназначен для конкретного пользователя.
- Пользователь передает и получает информацию пакетами; во время пауз канал связи занимают другие абоненты.
- Скорость передачи данных в пакете может изменяться, достигая 160 кбит/с (абоненту могут выделять до 8 TS на одной частоте).
- Скорости передачи в направлениях “вверх” и “вниз”, как правило, разные, например, 64 кбит/с в направлении BSS>MS и 3 кбит/с в направлении MS>BSS, причем асимметричные каналы обычно выделяют при доступе в Интернет.
- Стоимость сервиса зависит от объема переданной информации, QoS сеанса связи и общего времени подсоединения к сети.
- Абонентская станция виртуально подключена к сети Интернет и на время сеанса связи получает интернет-адрес.

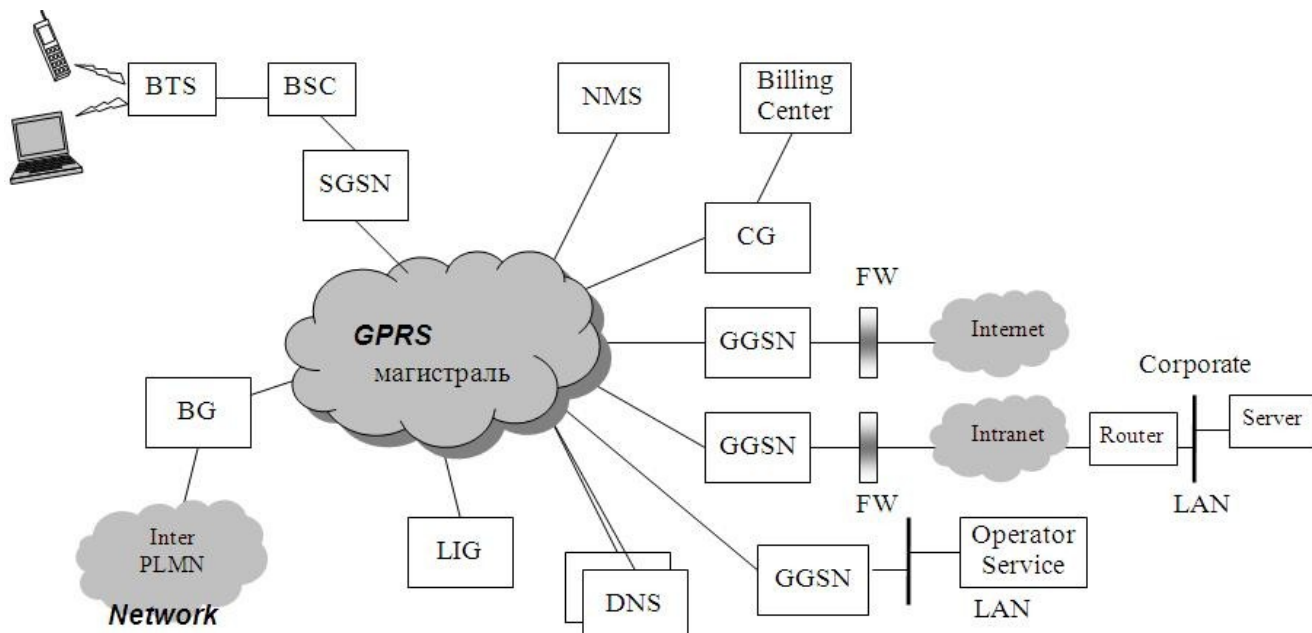


Рис. 21. Реализация GPRS на сотовой сети GSM.

Главную роль MSC/VLR в этой пакетной сети подвижной связи выполняет SGSN - Serving GPRS Support Node - обслуживающий узел GPRS со следующими функциями:

- маршрутизирует (коммутирует) потоки пакетов данных между абонентской станцией и GGSN (пакетными сетями);
- осуществляет преобразование протоколов передачи информации по магистрали Интернета в протоколы, используемые в BSS;
- аутентифицирует абонентов;
- обеспечивает шифрацию сообщений, закрытие абонентов временными номерами при работе в пакетной сети (P-TMSI);
- ведет базу данных обслуживаемых пакетной сетью абонентов, обеспечивая их локализацию (процедуры Mobility Management) и необходимый QoS;
- реализует взаимодействие с MSC/VLR и HLR сети подвижной связи с коммутируемыми каналами;
- собирает информацию об оказанных услугах для биллинга.

Состав и назначение остальных блоков:

- GGSN – Gateway GPRS Support Node – Шлюзовый узел GPRS;
- BG – Border Gateway – Граничный шлюз;
- FW – Firewall – Брандмауэр;
- LAN – Local Area Network – Местная (корпоративная) сеть;
- CG – Charging Gateway – Шлюз для подключения к биллинговому центру;
- DNS – Domain Name Server – Сервер доменных имен;
- LIG – Legal Interception Gateway – Шлюз для законного прослушивания информации;
- NMS – Network Management System – Подсистема управления сетью.

Базовая станция — BSC:

- распределяет каналный ресурс между абонентами, обслуживаемыми по коммутируемыми каналам, и MS, работающими в пакетном режиме;
- организует каналы абонентам пакетной сети в соответствии с требуемым QoS;
- реализует фрагментацию и сборку кадров для их передачи по радиоканалам;
- осуществляет контроль качества передачи по радиоканалам.

В состав BTS входит новое кодирующее устройство CCU (Channel Codec Unit).

В HLR внесены новые дополнительные данные об абонентах, которым предоставляют услуги GPRS (базисный PDP - Packet Data Protocol контекст).

В сети GPRS вводятся новые процедуры. Во время подключения пользователя к сети GPRS происходит его регистрация в SGSN, активизация программного обеспечения GPRS в MS и в базах данных по обслуживанию абонента в SGSN и GGSN (активизация PDP контекста). При этом пользователь или получает временный адрес в соответствующей пакетной сети, или активируют его постоянный адрес. Во время сеанса связи MS может находиться в разных состояниях:

- *Ready* – абонентской станции выделен канальный ресурс;
- *Standby* – абонентская станция находится в режиме ожидания вызова.

Когда MS находится в движении при состоянии *Standby*, происходит процедура *RoutingArea Updating*, подобная процедуре *LocationUpdating* в обычной GSM. Если MS находится в состоянии *Ready*, то при перемещении из соты в соту станция производит реселекцию сот. BSC по ее запросу переключает каналы трафика от одной BTS к другой. Хэндовера в GPRS нет.

## EDGE

EDGE (Enhanced Data Rates for Global Evolution) – технология, разработанная для увеличения скорости передачи данных в радиоканале, которая предусматривает замену вида модуляции: Гауссовой ЧММС на 8-ФМ. Это позволяет при сохранении символьной скорости передачи в радиоканале 271кбит/с повысить скорость передачи данных в 3 раза, т.к. сигнал 8-ФМ имеет 8 позиций и каждая из них соответствует комбинации из 3-х бит. В технологии EDGE появляются новые каналы передачи данных E-TCH (Enhanced Traffic Channel), скорости которых равны 28,8; 32 и 43,2 кбит/с в одном ВИ. В сочетании с избыточным кодированием и использованием нескольких TS достигаются скорости передачи данных до 400 кбит/с.

Модуляция 8-ФМ имеет меньшую помехозащищенность, чем Гауссова ЧММС, в связи с этим ее следует применять в каналах с повышенным отношением сигнал/помеха. Если при скорости передачи в одном ВИ 9кбит/с требовалось защитное отношение сигнал/помеха в 9 дБ, то при применении 8-ФМ необходимое защитное отношение возрастает до 15 – 17дБ. Исходя из этого, в сетях GSM – EDGE организуют адаптивное изменение скорости передачи в соответствии с вариациями характеристик канала связи. В сетях с пакетной коммутацией GPRS + EDGE (EGPRS) используют специальные схемы модуляции и кодирования (Modulation & Coding Scheme, MCS), что позволяет вести передачу с оптимальной скоростью. Фактически данный процесс есть адаптация скорости передачи данных к качеству канала. Протокол управления радиолинией EDGE – RLC имеет некоторые отличия от соответствующего GPRS протокола. В EDGE появляются новые технологии, которые оптимизируют пропускную способность данных для каждого радиосоединения. Основные изменения связаны с уточнениями в системе контроля качества. Управление качеством является общим термином для методов адаптации надежности радиолинии изменяющемуся качеству канала соединения и объединяет адаптацию соединения (LA – link adaptation) и возрастающую избыточность (IR – incremental redundancy) кодирования.

В технологию внедряют более прогрессивные способы модуляции 16QAM и 32QAM, разделяют схемы модуляции и кодирования по направлениям вверх (UAS и UBS) и вниз (DAS и DBS). В работу каналов включают расширенный вариант механизма автоматического повторения ошибочно принятых блоков (ARQ – automatic repeat request) с возрастающей избыточностью (IR). В этой схеме с IR сначала посылают блоки с низкой скоростью, а затем постепенно повышают скорость передачи, если декодирование прошло успешно и без повтора блоков. При сильной избыточности кодирования будет низкая



результатирующая скорость передачи и увеличится задержка. Выбор начальной модуляции и кодовой скорости базируется на постоянных измерениях качества соединения.

Таблица 6. Схемы модуляции и кодирования EGPRS2.

Схемы модуляции и кодирования	Модуляция	Максимальная скорость передачи данных, кбит/с	Скорость кодирования	Семейство
DAS-12	32QAM	98,4	0,96	B
DAS-11		81,6	0,80	A
DAS-10		65,6	0,64	B
DAS-9	16QAM	54,4	0,68	A
DAS-8		44,8	0,56	B
DAS-7	8-ФМ	32,8	0,54	B
DAS-6		27,2	0,45	A
DAS-5		22,4	0,37	B
DBS-12	32QAM	118,4	0,98	A
DBS-11		108,8	0,91	A
DBS-10		88,8	0,72	A
DBS-9	16QAM	67,2	0,71	B
DBS-8		59,2	0,60	A
DBS-7		44,8	0,47	B
DBS-6	4-ФМ	29,6	0,63	A
DBS-5		22,4	0,49	B
UAS-11	6QAM	76,8	0,95	A
UAS-10		67,2	0,84	B
UAS-9		59,2	0,71	A
UAS-8		51,2	0,62	A
UAS-7		44,8	0,55	B
UBS-12	32QAM	118,4	0,96	A
UBS-11		108,8	0,89	A
UBS-10		88,8	0,71	A
UBS-9	16QAM	67,2	0,70	B
UBS-8		59,2	0,60	A
UBS-7		44,8	0,46	B
UBS-6	4-ФМ	29,6	0,62	A
UBS-5		22,4	0,47	B

Далее объединяют две несущие и появляется E-EDGE Rel.7 - 1,2 Мбит/с DL, 400 кбит/с UL, пиковые задержки не более 90 мс, который называют GERAN (GSM EDGE Radio Access Network).

### Справка - Гауссовская частотная манипуляция (GMSK)

В стандарте GSM выбрана гауссовская частотная манипуляция с минимальным частотным сдвигом – GMSK. Индекс модуляции 0,3. GMSK представляет собой двоичную ЧМ с двумя соответствующими сигналу частотами, выбранными таким образом, чтобы на одном тактовом интервале между двумя частотами имелся фазовый сдвиг на  $90^\circ$ . Этот процесс показан на рисунках 22, 23.

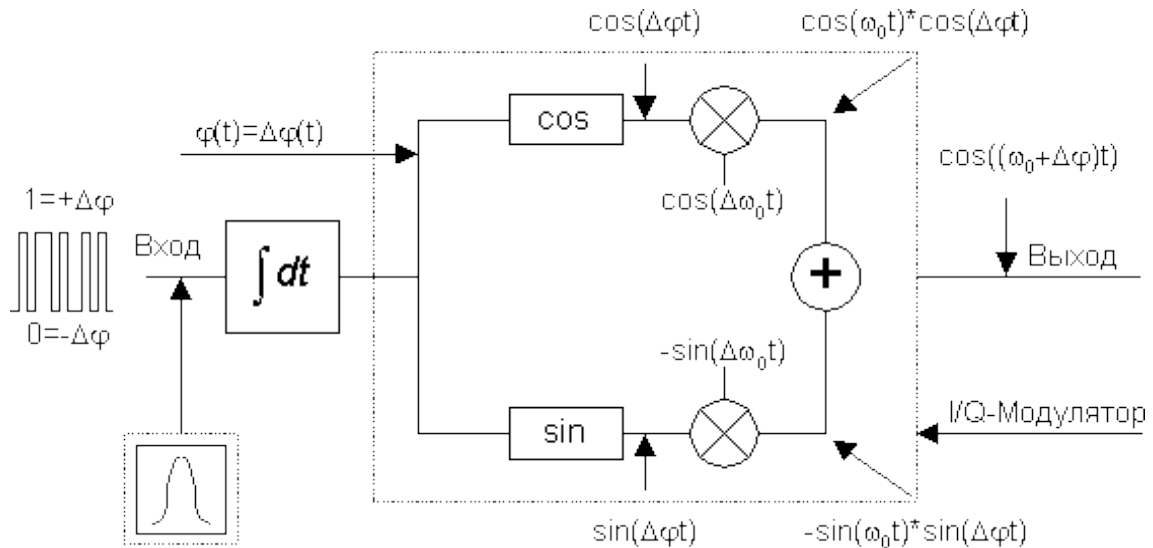


Рисунок 22. Принцип формирования GMSK-сигнала

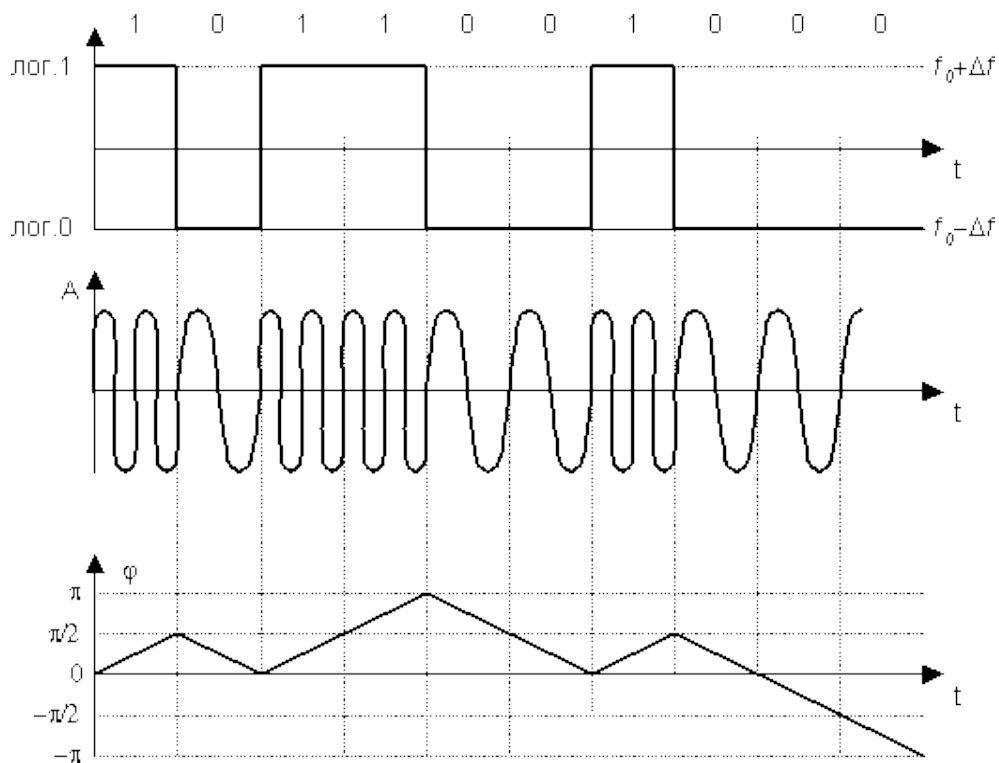


Рисунок 23. Формирование GMSK-сигнала

Модуляцию GMSK характеризуют следующие свойства:

- постоянная по уровню огибающая, позволяющая использовать передающие устройства с усилителями мощности класса С;
- узкий спектр на выходе усилителя мощности передающего устройства обеспечивающий низкий уровень внеполосного излучения;
- хорошая помехоустойчивость канала связи.

сети GSM.

## ***Спутниковые радиосети и их особенности***

### *Классификация систем спутниковой связи*

Сети спутниковой связи обладают преимуществом перед другими системами связи: спутниковая связь не имеет ограничений по привязке к местности и охватывает местности, где построение других систем связи нерентабельно или невозможно: морские транспортные магистрали, незаселённые или малозаселённые территории (в частности, северные территории России), места разрыва наземной инфраструктуры телекоммуникаций.

В зависимости от вида предоставляемых услуг сети спутниковой связи можно разделить на следующие классы:

- речевая (радиотелефонная) связь;
- пакетная передача данных;
- определение местоположения потребителей;
- телевидение.

Радиотелефонная связь использует протоколы цифровой передачи сообщений, удовлетворяющие международным стандартам на спутниковую связь. В частности, передача сообщений должна осуществляться в реальном масштабе времени, задержка сигнала не должна превышать 0,3сек, недопустимо прерывание сеанса связи. Обеспечение перечисленных требований формируется посредством: высокоточной системой ориентации спутников для удержания луча антенн в заданном направлении, достаточным для сплошного (непрерывного) покрытия зоны обслуживания количеством спутников в системе и количеством многолучевых антенных систем (работающих на частотах выше 1,2ГГц), достаточным количеством наземных узловых (шлюзовых) станций.

Системы пакетной передачи данных обеспечивают передачу любых данных в цифровом виде: телексные, факсимильные сообщения, компьютерные данные и т.д.; как правило, в таких системах отсутствуют требования к оперативности доставки сообщений, скорость передачи составляет от единиц до сотен килобайт в секунду. В настоящее время развернуты несколько систем пакетной передачи данных для организации доступа в Internet.

Для определения местоположения абонента развернута GPS система на базе спутниковой группировки ГЛОНАСС/НАВСТАР. Как правило, GPS система используется в промышленных и военных целях: определение координат морских судов, самолетов, железнодорожных и автомобильных транспортов специального назначения, находит применение в геологоразведочных экспедициях и т.п.

Сеть спутникового телевидения охватывает практически всю территорию материков и насчитывает сотни телевизионных каналов, сгруппированных по тематикам: новости, спорт, культура, развлекательное телевидение и т.д. Помимо сервиса в виде избыточного количества телеканалов достоинством сетей спутникового телевидения является охват малозаселённых территорий, где отсутствуют (в виду их нерентабельности) ретрансляционные сети телевидения.

### *Спутники*

Для построения спутниковых систем связи используют орбитальные группировки, расположенные на разных по высоте орбитах (классификация по высоте орбиты):

- высокоорбитальные, или геостационарные – круговые экваториальные орбиты высотой около 40 000 км;
- среднеорбитальные – с круговой орбитой высотой порядка 10 000 км;
- низкоорбитальные – круговые орбиты высотой 700-1500 км.

Высота орбит определяются многими факторами: энергетические характеристики радиолиний (мощность уменьшается пропорционально квадрату расстояния), задержкой

распространения радиоволн, размеры и расположение обслуживаемых территорий, угол места спутника, способ организации связи и т.д.

Геостационарные орбитальные группировки имеют период обращения спутника вокруг Земли 24 часа, т.е. спутник является неподвижным относительно поверхности Земли, как бы «висит» над одной и той же точкой экватора. Помимо этого, большое соотношение высоты орбиты и радиуса Земли позволяет трем геостационарным спутникам охватить практически полностью поверхность планеты (за исключением полюсов). Однако геостационарные космические группировки имеют значительный недостаток – большое время распространения радиосигнала, что приводит к задержкам передачи сообщений во время сеанса связи.

Спутники, находящиеся на низких орбитах, не имеют ощутимой задержки распространения радиосигнала. Однако в зону видимости абонента попадают лишь на 8-12 минут, что требует для обеспечения непрерывности связи наличие большого количества спутников, как бы «передающих по эстафете» абонента посредством наземных шлюзовых станций или межспутниковой связи.

С увеличением высоты орбиты увеличивается зона видимости и, соответственно, время нахождения спутника в зоне видимости, что позволяет уменьшить количество спутников в группировке. Высота орбит среднеорбитальных систем связи является компромиссным значением между параметрами: количество спутников в группировке и время распространения сигнала (при скорости спутника 7км/с - порядка 130мс).

Системы спутниковой связи имеют много общего с сотовыми системами связи: территория обслуживания, как правило, формируется посредством нескольких радиолучей, с той лишь разницей, что размер соты составляет несколько сотен километров, а роль базовых станций выполняют спутники (или многолучевые антенны). Многолучевые антенны используют в геостационарных (иногда – в среднеорбитальных) системах связи с целью достижения необходимой пропускной способности сети. Абонентские терминалы речевой связи оборудованы вокодерами, обеспечивающими переменную скорость передачи речевого сигнала; передача информации ведётся со скоростью порядка 1200-9600 бит/с.

Геостационарные системы связи в большинстве своём используют протокол TDMA, низкоорбитальные – CDMA (например: Globalstar, Odyssey). В настоящее время активно ведутся разработки по интеграции сотовых систем связи и спутниковых систем связи.

### *Принципы построения спутниковых систем связи*

Спутниковая сеть связи (рисунок 24) включает в себя:

- космический сегмент, состоящий из нескольких спутниковых ретрансляторов;
- наземный сегмент, (центр управления орбитальными спутниками, шлюзовые станции);
- абонентский сегмент (абонентские терминалы);
- интерфейсы сопряжения шлюзовых станций с наземными сетями связи.

С целью обеспечения отсутствия взаимных помех систем спутниковой связи использование частот и расположение спутниковых ретрансляторов регламентируется Международным консультативным комитетом по радио и Международным комитетом по регистрации частот. Диапазоны частот, выделенные под спутниковую связь представлены в таблице 7.

Космический сегмент включает спутниковую группировку, состоящую из нескольких спутниковых ретрансляторов, равномерно размещенных на орбитах. Космические аппараты (КА) включают:

- центральный процессор;
- радиоэлектронное оборудование бортового радиотрансляционного комплекса;
- антенные системы;
- системы ориентации и стабилизации;

- двигательные установки;
- система электропитания (аккумуляторы и солнечные батареи).

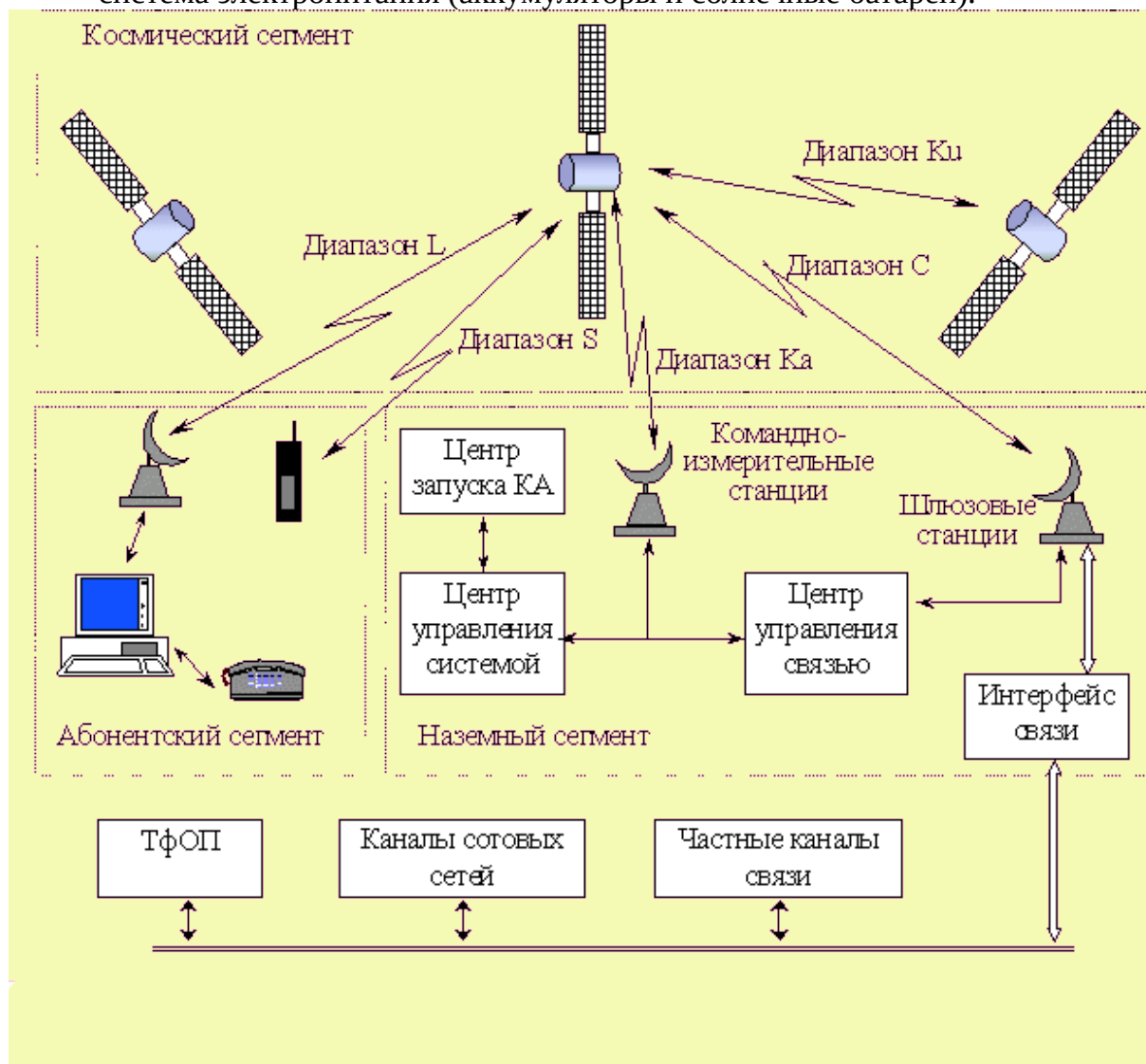


Рисунок 24. Обобщенная структура сети спутниковой связи.

Таблица 7. Диапазоны частот космической и спутниковой связи.

Диапазон	Полоса частот, ГГц
L	1,452 - 1,500
	1,61 - 1,71
S	1,93 - 2,70
C	3,40 - 5,25
	5,725 - 7,075
Ku	10,70 - 12,75
	12,75 - 14,80
Ka	14,40 - 26,50
	27,00 - 50,20
K	84,00 - 86,00

Количество спутников в орбитальной группировке определяется из соображений полного охвата обслуживаемой территории. Например, для низкоорбитальной группировки с орбитой 1000км и при скорости спутника 7км/с время видимости спутника составляет 14минут; после этого спутник «уходит» за линию горизонта и, для обеспечения

непрерывности связи, на смену ему должен приходиться следующий, за ним – третий и т.д. Т.о. количество спутников будет определяться отношением периода обращения спутника вокруг Земли к периоду нахождения спутника в зоне видимости. С увеличением высоты орбиты увеличивается время видимости спутника, соответственно, уменьшаются требования к численности орбитальной группировки, однако, из-за увеличения дальности связи требуется более сложное и дорогостоящее оборудование. Численность орбитальной группировки определяется компромиссом между стоимостью и объемом оказываемых услуг и простотой и стоимостью подвижного спутникового терминала.

Обеспечение связью абонента, находящегося в зоне видимости одного спутника, с абонентом, находящимся в зоне видимости другого спутника, организуется посредством связи между спутниковыми ретрансляторами (по цепочке, пока информация не дойдет до спутникового ретранслятора второго абонента). В некоторых системах эту функцию выполняют шлюзовые станции, транслирующие информацию с одного спутника на другой.

Наземный сегмент включает:

- центр управления системой;
- центр запуска КА;
- центр управления связью;
- шлюзовые станции.

Центр управления системой осуществляет слежение за КА, расчет их координат, сверку и коррекцию времени, диагностику бортовой аппаратуры, передачу командной информации и т.д. функции управления осуществляются на основе телеметрической информации, получаемой от каждого КА группировки. Благодаря использованию территориально разнесенных контрольно-измерительных станций центр управления системой с достаточно высокой оперативностью выполняет: контроль запуска и точность вывода КА на заданную орбиту, контроль состояния каждого КА, контроль и управление орбитой каждого КА, разрешение нештатных ситуаций, вывод КА из состава орбитальной группировки.

Центр запуска КА определяет программу запуска, осуществляет сборку ракеты-носителя, установку полезной нагрузки КА, предстартовую проверку; после запуска ракеты-носителя - траекторные измерения на активном участке полета, которые передает в центр управления системой для корректировки последующей траектории.

Центр управления связью планирует использование ресурса спутника, посредством шлюзовых станций контролирует и управляет связью. В нормальных условиях работы орбитальной группировки связь со шлюзовой станцией и пользовательскими терминалами осуществляется автономно. В нештатных ситуациях (неработоспособность КА, оборудования спутникового ретранслятора или шлюзовой станции) центр переходит в режим поддержания связи с повышенной нагрузкой, или проводит реконфигурирование сети.

Абонентский сегмент определяется номенклатурой предоставляемых спутниковой системой связи услуг: связь абонентов спутниковой сети с абонентами спутниковой сети, ТфОП, пейджинговых и сотовых сетей, определение местоположения (координат) абонентов.

Абонентское оборудование разделяют на переносные спутниковые терминалы (весом до 700г) и мобильные терминалы (весом порядка 2,5кг). Спутниковые телефоны оборудованы антенной, не требующей ориентации на спутниковый ретранслятор. При установлении связи (что занимает порядка 2с) система автоматически определяет свободный канал и закрепляет его за абонентом на период сеанса связи. Как правило, в телефонах используется временное или частотное уплотнение каналов, хорошо зарекомендовавшее себя в сотовой связи. Некоторые спутниковые телефоны способны работать с сотовыми сетями связи (устанавливается соответствующая SIM-карта).

## *Краткий обзор спутниковых систем мобильной связи*

### *Teledesic*

Teledesic - широкополосная низкоорбитальная спутниковая коммуникационная система — имеет в распоряжении две полосы по 500МГц в Ка-диапазоне (20-30ГГц). Up-link: 28,6-29,1ГГц; down-link: 18,8-19,3ГГц.

Система запланирована из 288 спутников на 12 орбитах. Все эти спутники, связанные в единую сеть организуют систему "космического Интернета" (Internet in the sky). В пределах зоны радиусом 100км система сможет поддерживать скорость 500Мбит/с на и от пользователя. Большинство пользовательских терминалов способны поддерживать скорость 64Мбит/с в обоих направлениях. Базовым режимом, то есть наиболее массовым, по оценкам экспертов компании, будет режим с up-link скоростью 2Мбит/с и down-link скоростью 64Мбит/с.

### *Celestri*

Особенность этой системы заключается в совместном использовании низкоорбитальных и геостационарных спутников. Спутники, находящиеся на низких орбитах, осуществляют региональную трансляцию, геостационарные спутники — глобальную. Эта система является "второй серией", которую запланировала компания Motorola вслед за уже широко известным Iridium'ом. Если Iridium осуществляет телефонную и пейджинговую связь, то система Celestri должна предоставить своим пользователям полный набор мультимедийных услуг.

Низкоорбитальная группировка будет состоять из 63 спутников, расположенных на 7 орбитах. Высота орбиты - 1400км, наклонение - 48°, период обращения - 1,9часа. Каждый спутник будет общаться с пользователями со скоростью 80Гбит/с. Минимальный срок службы каждого аппарата — 8 лет. Частотный диапазон: Up-link 28,6-29,1 и 29,5-30,0ГГц; Down-link 18,8-19,3 и 19,7-20,2ГГц; скорость межспутниковой связи 4,5Гбит/с.

Геостационарная группировка состоит из девяти спутников, каждый из которых будет формировать 4 широких луча и 84 узких. Скорость связи в каждом луче - 2,8Гбит/с. Набор пользовательской аппаратуры предусматривает терминалы со скоростями от 64Кбит/с до 155Мбит/с. Стоимость самого дешевого комплекта оборудования не должна превышать 750 долларов.

### *Ellipso*

Ellipso является гибридной системой, включающей 17 спутников в двух группировках: средне- и низко-орбитальной. Создатели системы поставили себе задачу минимизировать стоимость одной минуты, для чего они пошли по пути достижения максимальной эффективности системы минимальными средствами. То есть сделали так, чтобы спутники обслуживали заселенные области, а время пролета над малонаселенными областями было минимизировано.

Спутниковая группировка разделена на две половины: Ellipso-Boreal и Ellipso-Concordia. Первая предназначена для обслуживания Северного полушария, вторая - южного. В системе Ellipso-Boreal - 10 спутников, выведенных на эллиптические орбиты (апогей - 7846км, перигей - 520км, наклонение - 116,5°, период обращения - 3 часа). Апогей орбиты находится в северном полушарии, таким образом, большую часть периода спутник обслуживает северное полушарие. Система Ellipso-Concordia состоит из шести спутников, находящихся на круговых экваториальных орбитах высотой 8040км. Эта система будет обслуживать южное полушарие, причем только до 47° ю.ш. Все территории, находящиеся южнее, по замыслу создателей, не заселены и в мобильной связи не нуждаются. Кстати, на эту орбитальную схему создателями получен патент. По их словам, данное расположение

орбит повышает эффективность системы чуть ли не на 20% по сравнению с системой, расположенной на круговых орбитах.

### *Globalstar*

Система состоит из 56 спутников на восьми орбитах. При этом шесть спутников на каждой орбите являются рабочими, а по одному - резервными. Высота орбиты - 1414км, наклонение - 52°. Масса каждого спутника - 450кг, минимальный срок службы - 7,5 лет.

Особенность Globalstar заключается в том, что при запросе пользователя сначала будет сделана попытка соединить пользователя через местную сотовую сеть. При невозможности сделать это, сигнал будет отправлен на спутник, с которого - на узловую станцию (Gateway), и далее - в местные коммуникационные сети. Таким образом, Globalstar является не альтернативой традиционным методам связи, а только дополнением.

В проект всех остальных систем тоже заложена совместимость с наземными сетями, однако, "врастание" в такой сильной степени характерно только для Globalstar.

Рабочие частоты Globalstar:

- 1610-1621,35МГц - Up-link - связь пользователь-спутник
- 2483,5-2500МГц - down-link - связь спутник-пользователь
- 5091-5250МГц - feeder up-link - связь gateway-спутник
- 6875-7055МГц - feeder down-link - связь спутник-gateway

### *Sky Bridge*

Спутниковая группировка Sky Bridge включает 64 спутника на низких орбитах, обеспечивая пользователей всем "джентльменским набором" мультимедийных услуг: передача данных, корпоративная связь, выход в Интернет, игры. Каждый спутник формирует 45 лучей, каждый из которых обслуживает область радиусом 350км. Масса спутника - 800кг, минимальный срок службы - 8 лет. Пользовательский терминал обеспечивает скорость 64Мбит/с на линии "спутник-Земля" и 2Мбит/с на линии "Земля-спутник". Предполагается создать около 200 узловых трансляционных станций, обеспечивающих связь Sky Bridge с местными коммуникационными сетями. Эти же станции будут обеспечивать переключение пользователя со спутника, выходящего из зоны видимости.

### *ORBICOMM*

В 1995 г. на орбиту были выведены два экспериментальных спутника. В настоящее время идет разворачивание системы из 28 КА. Система осуществляет слежение за передвижными объектами (аналогично системе Euteltraks), автоматический сбор информации (пожарные службы, радиационный контроль и др.), корпоративную и персональную связь. Спутники находятся на орбите высотой 825км. Для трансляции "Земля-спутник" используется диапазон 137-138МГц и 400МГц, для трансляции "спутник-Земля" — 148-150МГц.

### *Спутниковый Internet*

Рекомендуемое использование высокоскоростного спутникового Интернета - подключение групп пользователей: корпоративные структуры, небольшой город с медленной телекоммуникационной магистралью. Обычно используется выделенная линия небольшого (32-64 кбит/с) объема; при такой линии и возрастании числа пользователей «всё начинает тормозить». Подключение к высокоскоростному спутниковому Интернету позволяет резко повысить скорость и улучшить качество приема при незначительном увеличении расходов.



Следует отметить, что посредством спутникового Internet принципиально невозможна IP-телефония, поскольку сервер обрабатывает только ftp- и http-протоколы.

### НТВ Internet

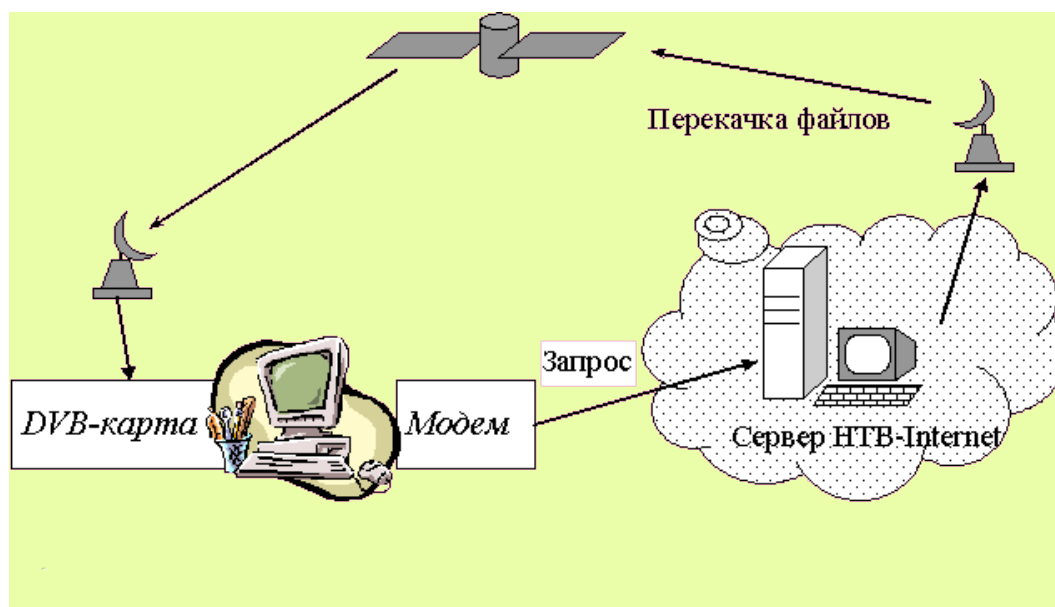


Рисунок 25. Схема работы НТВ-Интернет.

В предоставляемом НТВ-Интернет сервисе (сайт [www.ntvi.ru](http://www.ntvi.ru)) используется стандартная схема отправки запроса и получения ответа, которая отражена на рис. 25. Работа портала НТВ-Интернет основана на PROXY-сервере, расположенном в Москве.

Для предоставления данного сервиса работает один транспондер спутника "Бонум" на частоте 12297МГц. Ширина транспондера 36МГц. Не вдаваясь в точные расчеты, ориентировочно можно сказать, что при гарантированной скорости 365кбит/с одновременно около сотни пользователей могут непрерывно качать информацию. Понятно, что такого не бывает: во-первых, не все одновременно, во-вторых, не все время качают файлы. У сервиса EON на настоящий момент порядка 15000 пользователей. Но при этом уже задействовано 4 или 5 транспондеров спутника "Астра". Предполагается подключить ещё 3 транспондера. Очевидно, с возрастанием количества пользователей компания НТВ-Интернет будет предпринимать всякого рода шаги для обеспечения качества: от ограничения количества пользователей или скорости передачи до ввода новых мощностей. На этот случай резервы у компании есть: еще далеко не все транспондеры спутника используются на полную мощность.

Абонентское оборудование для высокоскоростного доступа в Интернет с возможностью приема телевизионных каналов:

- компьютер;
- "тарелка" НТВ-Плюс;
- DVB-карта (двойного назначения: Internet и телевидение);
- CD-ROM с соответствующим программным обеспечением.

DVB-карта - со встроенным MPEG-2 декодером и тюнером - предназначена для приема данных Интернет и приема неcodируемых телевизионных программ НТВ-Плюс (НТВ, ТНТ и др.); просмотр программ возможен, как на экране компьютерного монитора, так и на экране обычного телевизора. Эта карта комплектуется также выходом высококачественного стереофонического звукового сигнала.

Перечисленное оборудование предоставляет следующие функции:

- прием и декодирование Интернет-трафика со спутника;
- обработка push-поточков;
- организация обратного потока от пользователя;
- просмотр на экране компьютерного монитора в полностью масштабируемом окне телевизионных программ НТВ-Плюс;
- запись телевизионных программ на дисковые накопители компьютера - программный видеоманитофон.

Следует отметить, что такого сервиса, как одновременный прием в компьютер телевидения и Интернет оборудование не предоставляет.

Гарантированная скорость Интернет-трафика составляет 365кбит/с. Однако, экспериментально было определено: при подключении одного, двух, трех и более файлов наблюдается возрастание скорости скачки (920кбит/с); особой разницы между скоростями закачки файлов по FTP и HTTP не замечено. Иногда скорость стабильно держалась (для 10 ftp соединений около 1800-2000кбит/с).

### *EuropeOnline Internet*

EuropeOnline стартовала немного раньше, чем НТВ-Интернет, возможно поэтому он сейчас несколько более распространен. На этот сервис работает пять транспондеров спутника "Астра". Для приёма, благодаря "московскому" лучу, достаточно 90-сантиметровой "тарелки". Скорость получения информации гарантирована на уровне 370кбит/с.

Схема предоставления сервиса аналогична представленному на рис. 25. Несмотря на некоторые различия, по сравнению со схемой предоставления услуг компанией НТВ-Интернет, принцип у них одинаков. Программное обеспечение формирует и отправляет запросы к локальному Интернет-провайдеру, откуда они передаются на PROXY-сервер спутникового Интернет-провайдера, расположенный в Люксембурге. Все ответы на запросы, приходящие на сервер от пользователя, транслируются на спутник, а со спутника на компьютер пользователя. По сведениям сайта [www.itelsat.com.ua](http://www.itelsat.com.ua), сервер работает как шлюз с Интернет через канал 622Мбит (по сведениям из другого сайта [www.omicom.ru](http://www.omicom.ru) - 650Мбит).

Необходимое оборудование такое же, как и у НТВ-Интернет, за исключением спутниковой карты - EuropeOnline предлагает две платы:

- SkyStar 1 со встроенным MPEG-2 декодером и тюнером (помимо Internet);
- SkyStar 2 (только Internet).

Web-серфинг и ftp-закачка принципиально отличаются тем, что при web-серфинге абонент часто посылает запросы, и соотношение времени 1/8 - 1/10 между запросом и получением ответа начинает играть существенную роль. Одно дело один раз подготовить информацию и долго ее передавать (ftp-закачка), другое дело - прыгать со странички на страничку в поисках какой-либо информации. Уже из принципа передачи (короткий запрос по медленному телефонному каналу и длинный ответ через спутниковый канал) ясно, что ftp-закачка предпочтительней web-серфинга.

Различий в скорости закачки по FTP- и HTTP-протоколам не замечено. Скорость устойчиво возрастает при подключении дополнительных файлов, но с какого-то момента перестает расти: скорости выше 950 кбит/с зафиксировать не удавалось.

## Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»  
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович  
Тема: **Техобслуживание абонентов на сетях доступа.**

### Учебные вопросы:

1. Понятие технического обслуживания на сетях доступа.
2. Техническая поддержка услуг оператора связи.
3. Зона действия оператора — зона ответственности оператора.

### Литература:

1. Бакланов И.Г. Технологии ADSL, ADSL2+. Теория и практика применения. - М.: Метротек. 2007 — 384с.

Сеть абонентского доступа — технически сложная система, - надежность и качество работы которой зависит от многих факторов.

Объективной оценкой суммирующей множество параметров и показателей работы такой сети является степень удовлетворенности абонентов сети предоставляемыми на сети услугами, которая в свою очередь состоит из двух основных факторов:

- качества услуги;
- уровня сервиса.

Качество услуги — соответствие признаков или свойств выбранной абонентом услуги объявленной и предоставляемой оператором услуги удовлетворять потребности абонента в соответствии с назначением услуги.

Уровень сервиса — показатель качества обслуживания клиентов.

### ***Понятие технического обслуживания на сетях доступа.***

Для обеспечения абонентов услугами сети оператор обязан обеспечить выполнение следующего функционала на своей сети доступа:

- инсталляция услуги — в договорные с абонентом сроки предоставить доступ к сети и услугу связи;
- обеспечение услуги — поддержка предоставления услуги — своевременное и оперативное разрешение проблем, связанных с понижением качества доступа или качества услуги, обнаруженных в сети, клиентами или техническими работниками оператора и направленных на восстановление услуги или повышения ее качества;
- своевременное выставление счетов и обеспечение приема платежей.

Для поддержания услуг связи на заданном уровне объявленных характеристик и показателей качества любой оператор связи выполняет работы по их обеспечению на каждом фрагменте своей сети.

Такие работы подразделяются на:

- планово-профилактические — выполняемые согласно запланированным регламентам по рекомендации производителей оборудования и состояния сети в текущий момент времени;

- аварийные — выполняемые по устранению аварий — внеплановых простоев сети или прекращения оказания одного или нескольких видов услуг(и) одному или группе абонентов на САД.

Для исполнения вышеперечисленных функций на сети доступа вводится понятие технического обслуживания - комплекса технологических и организационных действий (работ) по поддержанию работоспособности и исправности сети доступа в ходе оказания абонентам услуг связи. Выполнение работ по техническому обслуживанию сети доступа оператор-предприятие связи возлагает на одно или несколько своих структурных подразделений, служб или работников.

### ***Техническая поддержка услуг оператора связи.***

В последнее время для повышения качества обслуживания и уровня сервиса операторы на своих сетях создают специальные службы инсталляции услуг и технической поддержки услуг, направленные на оперативное обслуживание своих абонентов с точки зрения сокращения сроков и времени обслуживания абонентов.

Основными показателями качества работы этих служб являются исполнение назначенных оператором *контрольных сроков* по установке оборудования и подключению услуг оператора у абонента и *контрольных сроков* по устранению повреждений у абонентов на сети.

Для обеспечения и реализации заданных контрольных сроков по устранению повреждений операторы связи выделяют функционал информационно-технической поддержки абонентов в отдельную технологическую линию и создают либо выделенные структурные подразделения в своем составе, либо возлагают отдельные задачи этого функционала на существующие структурные подразделения, бригады и работников.

Одним из типовых решений для крупных и средних операторов является трехуровневая ИТП (информационно-техническая поддержка). Перечислим типовые обобщенные задачи каждого уровня в рамках общего функционала:

#### ***1-й уровень:***

- Удовлетворение массовых обращений связанных с независимыми от технологической инфраструктуры вопросами (задолженность, настройка оконечного оборудования)
- Первичная диагностика неисправности (проверка схемы подключения, измерения линии)
- Прием заявок на исправление повреждений по услугам
- Выявление и подтверждение факта аварии или проведения ППР - РНР и сроков их окончания
- Передача заявки на 2-й уровень =>

#### ***2-й уровень:***

- Маршрутизация заявки на Диспетчера технического подразделения в случае отсутствия автоматизированного маршрута =>
- Экспертиза сложной заявки, участие в разрешении проблемы у клиента
- Мониторинг заявок
- Организация оповещения абонентов о сроках проведения и окончания аварийных/ремонтных работ

- Диспетчеризация заданий на работы специалистам технического подразделения
- Контроль качества устранения повреждений в нормативные сроки
- Проверка работоспособности услуги у клиентов

3-й уровень:

- Распределение задания внутри подразделений, организация работ
- Выполнение работ по устранению повреждений
- Сдача выполненных работ Диспетчеру 2-го уровня.

Информационные системы, используемые для обеспечения функционала ИТП приведены на рисунке 1.

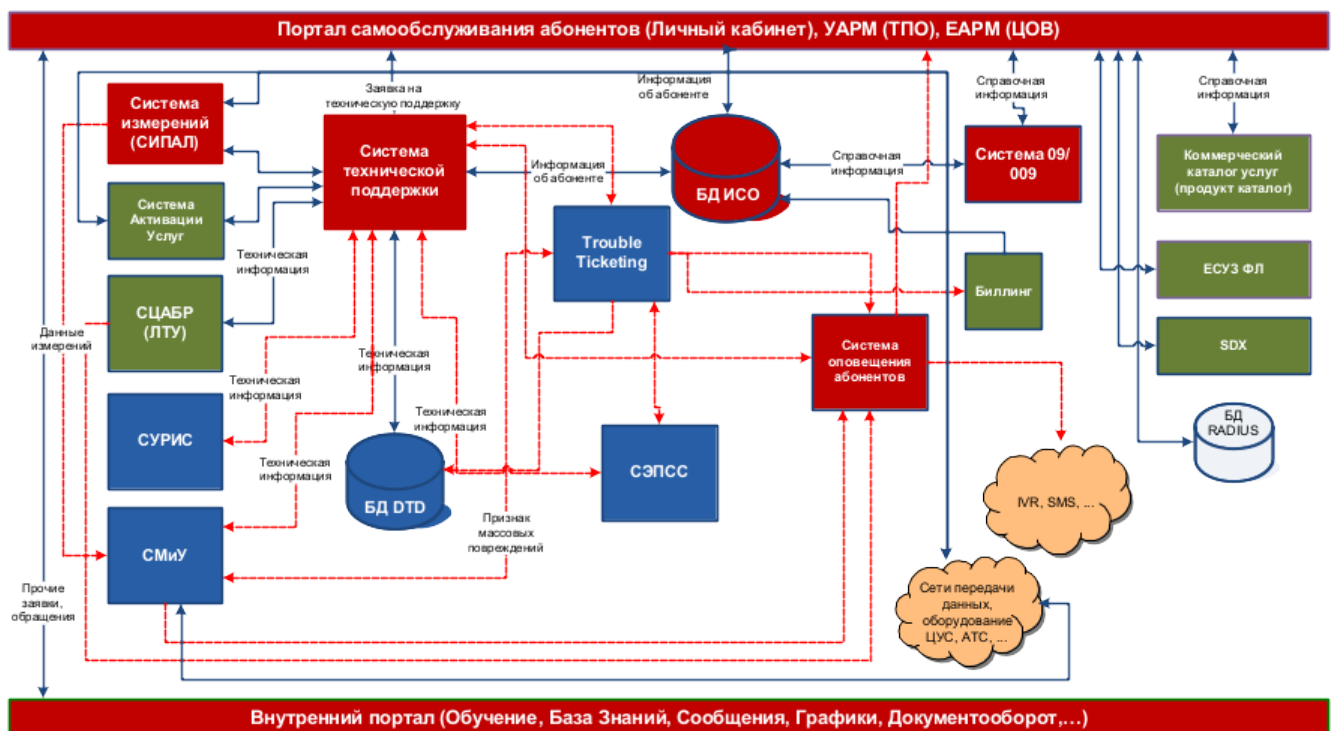


Рис. 1. Обобщенная схема взаимодействия информационных и технологических систем при реализации функционала ИТП.

СУРИС — сервер учета ресурсов инфотелекоммуникационных систем.

СМиУ — сервер мониторинга и уведомлений.

СИПАЛ — сервер измерений параметров абонентских линий.

СЦАБР — служба централизованного абонентского бюро ремонта.

ЛТУ — линейно-технический участок.

БД ДТО — сервер базы данных оборудования для предоставления услуг.

Trouble Ticketing — сервер управления заявками абонентов на ремонт (тикетами или трабл-тикетами).

СЭПСС — сервер эксплуатационной поддержки сетей связи (данные техучета).

ЕСУЗ ФЛ — сервер единой системы управления заявками для физлиц.

БД ИСО — сервер информационно-справочного обслуживания.

БД RADIUS — сервера AAA, первичный учет сессий.

SDX — программное обеспечение портала - Software-defined anything (Sdx).

Для технологического тестирования и оценки техсостояния линий и оборудования применяется внедренная в промышленную эксплуатацию **система измерений**, которая производит дистанционные измерения параметров абонентских линий и каналов.

### Сервер измерений

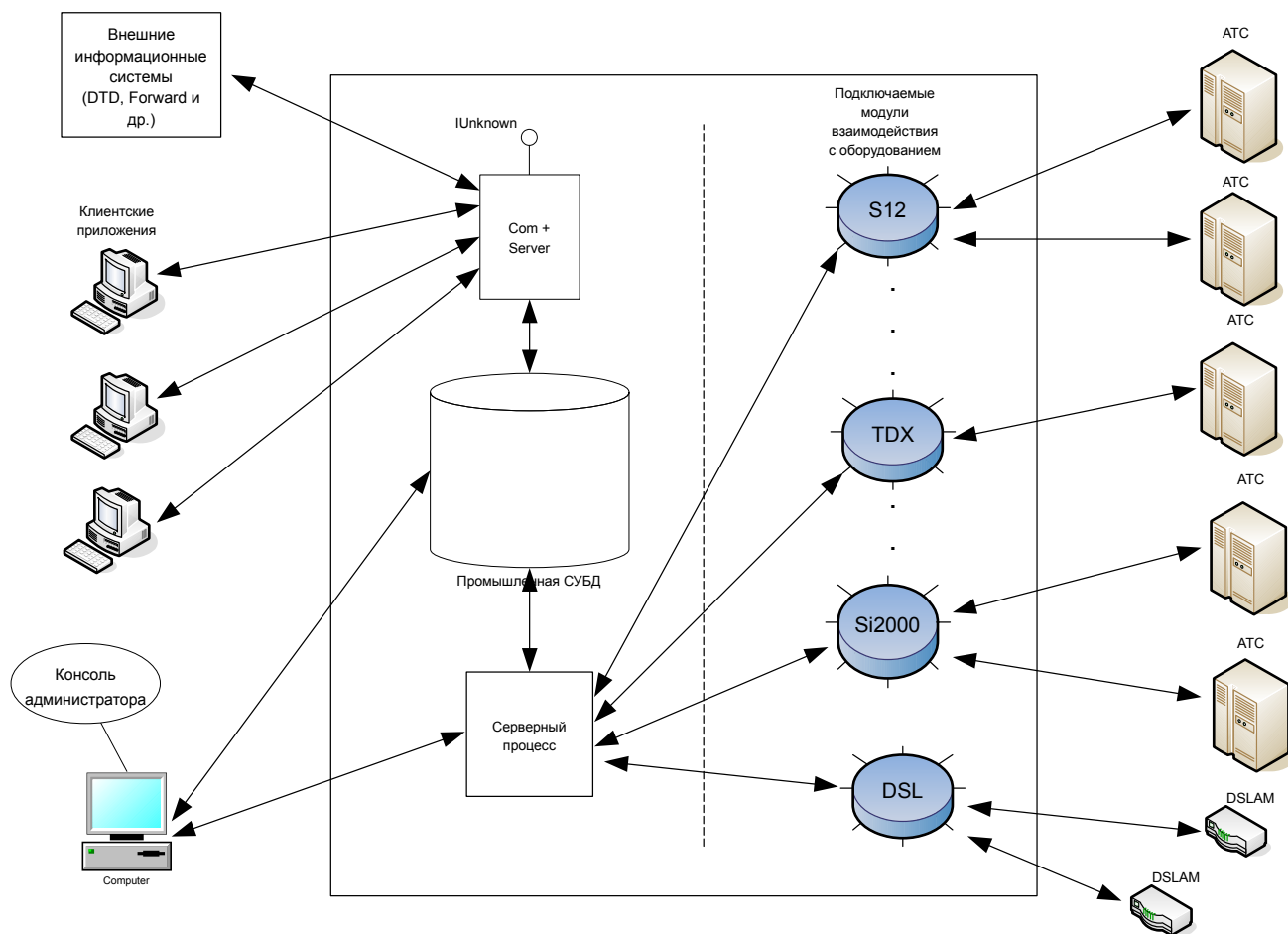


Рис. 2. Пример структуры сервера измерений.

Программно-аппаратный комплекс «Сервер измерений» (ПАК СИ) предназначен для автоматизации процесса дистанционного измерения параметров абонентских линий и комплектов для оборудования телефонии и DSL. Он позволяет:

1. Возможность проведения с помощью одного программного модуля дистанционных измерений параметров абонентской линии на любом коммутационном оборудовании с встроенным или внешним измерителем;
2. Освобождение станционного персонала от регулярных работ измерения абонентских линий и тестирования комплектов по запросу работников ИТП;
3. Возможность проведения групповых измерений по списку идентификации абонентов;
4. Хранение всех проведенных измерений в централизованном хранилище данных в унифицированном формате, что позволяет в дальнейшем проводить анализ качества состояния сетей в целом.

Данный программный комплекс предоставляет пользователю удобный интуитивно-понятный интерфейс по проведению дистанционных измерений

абонентских линий и комплектов. Пользователю нет необходимости устанавливать дополнительное программное обеспечение для взаимодействия с различным оборудованием по различным протоколам, запоминать логины, пароли и прочее.

Принципиальная схема построения Сервера Измерений приведена на рис. 2. Данный комплекс состоит из следующих программных модулей:

- Сервер Измерений : Клиент ;
- Сервер приложений : Интерфейсы Com+ для взаимодействия клиентов и сервера измерений ;
- Промышленная СУБД ;
- Сервер измерений : Утилита конфигурации COM ;
- Сервер Измерений : Сервер ;
- Модули взаимодействия с коммутационным оборудованием ;
- Сервер Измерений : Администратор.

Используя ПАК СИ возможно обеспечить Оператора или Инженера ИТП измерениями на всех уровнях технологического контроля:

- измерения уровня кабеля;
- измерения уровня ADSL;
- измерения уровня IP;
- измерения уровня услуг.

С точки зрения метода измерений СИ использует принцип SELT — Single-End Line Testing — возможность измерения параметров с одного конца линии. Еще существует метод DELT — Double-End Line Testing — измерение проводится с присутствием на удаленном конце технического работника — применяется чаще для специализированных приборов-измерителей.

Для удобства оперативной работы с абонентами ИТП использует в своей работе выделенные сервера голосовых приложений и часто - реализованные на их базе Call-центры. Пример такой реализации на базе оборудования AVAYA приведен на рисунке 3.

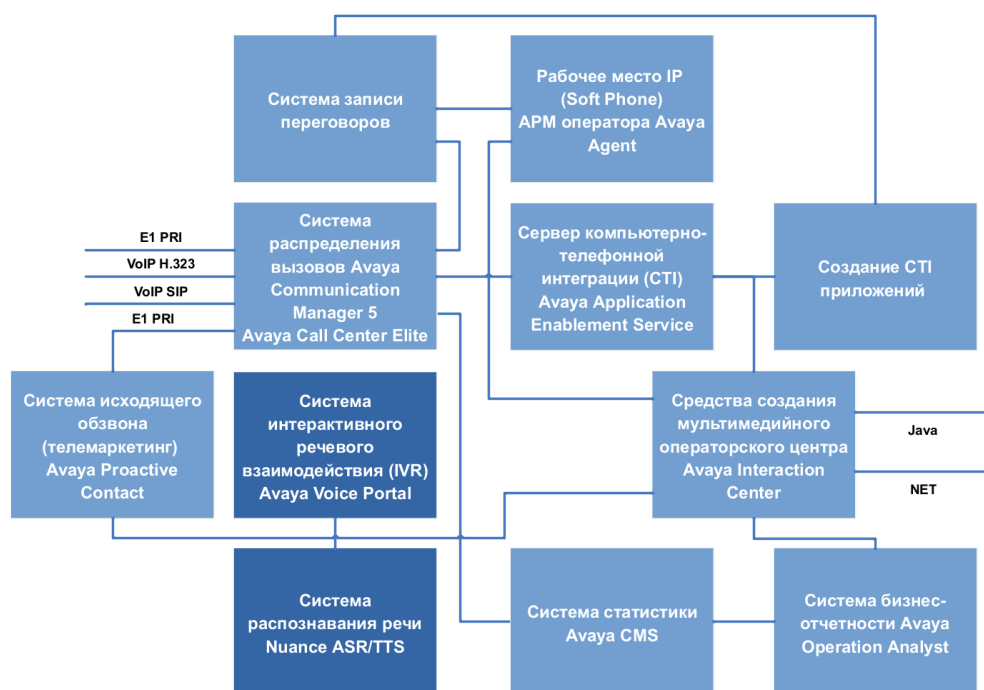


Рис. 3. Пример реализации Call-центра для ИТП.

## ***Зона действия оператора — зона ответственности оператора.***

При организации работ по техподдержке в интересах абонентов собственной сети оператор четко определяет ограничения для своей сети - зону ответственности оператора и зону действия оператора. При работе со сторонними операторами или юрлицами это, как правило, четко регламентируется договором. Но, что касается физлиц — простых абонентов — это может быть и по другому, например в целях устранения причин для оттока абонентов к конкурентам, работники ИТП могут (и чаще всего так и есть) нести полную или частичную ответственность за работу и настройку оборудования плюс исправность кабелей и патчкордов сети, принадлежащих абоненту в его жилище (квартире или доме). Разумеется эта ответственность заканчивается на уровне работоспособности услуг, оказываемых оператором. То есть, иногда, в своих коммерческих интересах, оператор, в ходе оказания технической поддержки расширяет свою зону действия за пределы своей зоны ответственности. Это может происходить и по отношению к некоторым юрлицам и госструктурам, в зависимости от важности или категории предоставляемых им услуг.



## Лекция

по учебной дисциплине «Сети абонентского доступа в системах передачи данных»  
ст. преп. каф. СС и ПД Владимиров Сергей Александрович  
Тема: **Развитие и проблемы роста сетей абонентского доступа.**

### Учебные вопросы:

1. Развитие сетей доступа на базе асинхронных технологий и задачи сети.
2. Структурирование сетей.
3. Возникающие проблемы роста и способы преодоления этих проблем.
4. Проблемы и вопросы синхронизации сетей и устройств.

### Литература:

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб. : Питер, 2012. – 943
2. RFC 6513 Multicast in MPLS/BGP IP VPNs

Вопрос о развитии и модернизации любой сети связи появляется одновременно с возникновением такой сети, так как существование сети - это необходимость подключения новых абонентов, оборудования для новых услуг и сервисов, как абонентских, так и связанных с эксплуатацией самой сети и ее оборудования. А в условиях интенсивного развития технологий особенно важно. Появляются дополнительные и новые функциональные возможности в абонентских устройствах, оборудовании доступа и так далее . . . Это новые версии встроенного (прошивки) и внешнего ПО, новые модификации . . . Поэтому вопрос развития, как и проблемы с ним связанные, остановить невозможно.

### *Развитие сетей доступа на базе асинхронных технологий.*

Развитие сетей доступа, как и любых других сетей связи общего пользования должно предусматривать выполнение требований на соответствие техническим норм на показатели качества функционирования и требования к совместимости (функциональной и физической) оборудования связи, образующего разные технологические уровни, установленные отраслью или оператором связи. То есть предусматривать весь комплекс организационно-технических мероприятий и требований к ним в соответствии с руководящими документами государства, отрасли и предприятия.

Особое внимание с точки зрения развития необходимо уделить следующим вопросам:

- требованиям к обеспечению совместимости и целостности сети, как части ССОП;
- требованиям к надежности;
- требованиям к обеспечению вызова экстренных оперативных служб;
- требованиям к гарантированному питанию оборудования сети доступа, возможно и пользовательскому;
- требованиям к обеспечению безопасности сети связи;
- требованиям к организации точек присоединения;
- требованиям к обеспечению СОРМ;

- требованиям к нумерации, системам адресации;
- требованиям к обеспечению системы единого времени;
- требованиям к сбору статистической информации.

В то же время для удобства решения эксплуатационных вопросов и качественного обслуживания абонентов сети необходима *унификация услуг и технических решений* для их реализации, при этом обязательно необходима выработка единой политики построения самих сетей на разных технологических уровнях. Обязательно требуется определить *принципы оказания услуг, настройки и типы* используемого для этого *оборудования*.

Из всех перечисленных требований вытекают и задачи операторских сетей, включая в себя и сети абонентского доступа:

- обеспечить высокоскоростную передачу агрегированных потоков трафика между узлами муниципального и верхнего регионального уровня;
- транспортировать как unicast и multicast пакеты IPv4/IPv6, так и MPLS пакеты (обеспечить P-функциональность сети);
- предоставить различные классы обслуживания для передаваемого трафика;
- обеспечить отказоустойчивость сети связи;
- обеспечить возможность наращивания производительности сети — как по трафику, так и по абонентской емкости;
- предоставлять весь комплекс услуг связи для разных категорий потребителей на всей зоне обслуживания;
- подключать пиринг-партнёров регионального и муниципального уровня и нижестоящих операторов.

### **Структурирование сетей.**

Структурирование сетей позволяет обеспечить высокую доступность услуг и сервисов в операторских сетях. Резервирование — обеспечить повышенную надежность и уменьшить время реагирования сети. Вопросы структурирования в сетях связи отражают принципы функционирования операторской сети в зависимости от работоспособности узлов, линий связи, магистралей и т. д., и характеризуют способность сети оказывать услуги связи и находить маршруты доставки трафика и услуг в условиях потери связности элементов сети.

Рассматривая ядро операторской сети как основной сервисный узел, необходимо обеспечить для него исполнение следующих функциональных возможностей:

- Обеспечение подключения абонентов ко всем услугам и сервисам;
- Агрегация сервисных подключений, включая местный контент;
- Маршрутизация трафика;
- Обеспечение QoS на границе сети;
- Обеспечение защиты на границе сети;
- Обеспечение резервирования сервисных подключений.

Любой сервисный узел (СУ) должен содержать в обязательном порядке хотя бы один маршрутизатор BPE и один маршрутизатор BRAS.

Резервирование BRAS, при необходимости, осуществляется по схеме N+1, при этом нагрузка распределяется между всеми устройствами, при выходе одного BRAS

из строя все активные в момент аварии абоненты должны распределиться между работающими устройствами, при этом возможна деградация скорости подключения абонентов.

Резервирование ВРЕ осуществляется по схеме 1+1 (сервисные подключения, для которых необходимо резервирование, дублируются на всех маршрутизаторах). Не рекомендуется применять промежуточные коммутаторы для агрегации интерфейсов BRAS и ВРЕ, следует, по возможности, использовать прямые интерфейсные подключения к сервисным маршрутизаторам. Необходимо на уровне СУ как можно ближе к абоненту разделить трафик с разной «ценностью» - трафик услуг ШПД не должен делить общие ресурсы с VPN трафиком. Поэтому, если использование агрегирующих коммутаторов на СУ является необходимым в период миграционных процессов или силу нехватки интерфейсов, то для ВРЕ и BRAS надо использовать отдельные агрегационные коммутаторы, так чтобы трафик с высокой и низкой стоимостью не пересекался на L2 уровне.

*Функционал сервисных маршрутизаторов BRAS и ВРЕ.*

Маршрутизатор BRAS предназначен для:

- Предоставления доступа в сеть Интернет для абонентов ШПД;
- Агрегации трафика абонентов;
- Применения политики предоставления услуг доступа к сети Интернет (безопасность, авторизация, выделение адресов, ограничение скорости доступа и т.п)
- Оптимальной маршрутизации трафика.

Основная специализация BRAS – предоставление динамического (по требованию) доступа для большого количества абонентов.

Маршрутизатор ВРЕ предназначен для:

- Предоставления доступа к услугам L2 и L3 VPN для абонентов;
- Предоставление услуги доступа в интернет для крупных потребителей;
- Агрегации трафика абонентов;
- Применения политики предоставления услуг доступа к сети Интернет (безопасность, авторизация, выделение адресов, ограничение скорости доступа и т.п)
- Обеспечения иерархического QoS на границе сети;
- Обеспечения оптимальной маршрутизации трафика в сети.

Основное предназначение ВРЕ - предоставление статического доступа к услугам для корпоративных клиентов (абонентов). Для того, чтобы обеспечить резервированное подключение к услугам в состав регионального сегмента должны входить как минимум два ВРЕ. По возможности они должны быть установлены на разных площадках. Оба ВРЕ должны взаимно резервировать друг друга. DR (Designated Router)

Для распространения трафика IP Multicast применяется технология Multicast VPN, описанная в [RFC6513]. Маршрутизаторы сервисных узлов ВРЕ и BRAS не участвуют в маршрутизации мультикаст трафика. Доставка мультикаст трафика до сети филиала как с федеральных так и с муниципальных источников производится непосредственно на интерфейсы DR (Designated Router) – выделенного маршрутизатора в сети оператора продублированного резервным выделенный маршрутизатором (backup designated router, BDR). От устройств IP/MPLS агрегации

трафик IP Multicast доставляется на устройства концентрации и доступа в одном Multicast VLAN, в котором используется технология IGMP Snooping.

Применение перечисленных выше принципов построения сервисного ядра сети позволит обеспечить высокую доступность сети оператора.

#### *Предоставление услуг*

Лучше, если услуга L3 VPN предоставляется на ВРЕ. Если по каким-то причинам ВРЕ на узле СУ отсутствует, услугу в варианте без резервирования можно предоставлять и на ВРАС. Абонентами услуги чаще являются юридические лица.

Предоставление услуги при непосредственном подключении оборудования абонента к ВРЕ осуществляется согласно принятым у оператора процедурам.

При подключении абонента к оборудованию оператора, сеть оператора предоставляет прозрачное транспортное L2 соединение (PWE, псевдопровод) между ВРЕ и СРЕ. Между DR и ВРЕ организуется 802.1q Ethernet соединение. Каждое абонентское СРЕ мапируется в отдельный VLAN. Для передачи более чем 4096 VLAN возможно применение двойного тегирования (4096x4096 VLAN), в этом случае DR и ВРЕ должны уметь добавлять и снимать по 2 VLAN тега.

IPv4 адреса из сети /30 назначаются на соответствующем данному VLAN сабинтерфейсе ВРЕ и на СРЕ. На ВРЕ IP интерфейс помещается в VPN требуемой конфигурации. Применяются существующие в СПД РТК правила и процедуры для создания VPN на ВРЕ. В соответствии с заключенным с абонентом соглашением SLA на порту ВРЕ применяется профиль QoS.

Возможны два варианта организации обмена маршрутной информацией между ВРЕ и СРЕ (оборудование на стороне абонента):

- динамическая маршрутизация;
- статическая маршрутизация.

При реализации подключения возможно применение как основного, так и резервного подключение СРЕ абонента непосредственно к ВРЕ. *Резервирование подключения абонентского СРЕ* реализуется путем выделения второго VLAN в сети оператора для подключения СРЕ вторым VLAN прозрачно через сеть доступа или коммутатор агрегации сети доступа к резервному ВРЕ (естественно при его наличии) и прокладки второго псевдопровода для транспортировки данного VLAN через сеть оператора. Для каждого абонента сервисные псевдопровода должны быть проложены по различным физическим трассам, чтобы исключить обрыв обоих псевдопроводов при аварии одного из каналов в сети агрегации доступа оператора.

При наличии технической возможности в сети филиала рекомендуется «приземлять» абонентские VLAN на различных PE-AGG маршрутизаторах или маршрутирующих коммутаторах, применяемых на сети доступа для районирования сетей. На участке СРЕ – ВРЕ возможны два способа маршрутизации трафика:

1. BGP маршрутизация.

2. Статическая маршрутизация с включенной опцией обнаружения неисправности канала с помощью протокола BFD.

#### *Особенность предоставления услуг для абонентов*

Маркирование трафика клиента традиционно производится на SE-устройстве (дополнительное VoIP-устройство – шлюз, встроенный шлюз или IP-фон, для IPTV обычно STB - IP-транскодер) по полям DSCP или 802.1p. У некоторых операторов услуги VoIP и IPTV могут оказываться без обязательного наличия у клиента SE-

устройства, в этом случае маркирование трафика должно осуществляться на коммутаторах доступа в соответствии с портами подключения.

### *Синхронизация времени*

Синхронизация времени в операторской сети осуществляется с помощью протокола NTP. Все устройства ядра, магистральной сети и сети доступа синхронизируются от двух серверов в сегменте управления сетью, один из которых является основным, а второй резервным и которые, в свою очередь, синхронизируются от назначенных серверов в сети Интернет.

### *Транспортные и магистральные сети*

Транспортные сети оператора связи предназначены для доставки трафика и услуг к сетям более низкого уровня иерархии или узлам доступа такого же уровня и создаются на базе магистральных сетей связи с топологией "кольцо" или "множественные кольца", образованных ВОЛС. В качестве технологий магистральной сети связи рекомендуется использовать xWDM, POS.

Для обеспечения требуемого качества услуг трафик должен передаваться в разных физических или виртуальных соединениях системы передачи (отдельном STM, по отдельной длине волны, в отдельной VLAN). Передача трафика разных категорий качества по разным соединениям позволяет избежать задержек, связанных с формированием очередей пакетов в маршрутизаторе, а также исключить влияние очередей друг на друга.

Транспортные сети связи должны создаваться по топологии "каждый с каждым" на уровне соединений системы передачи. При этом совокупная задержка обработки пакета в маршрутизаторах транспортной сети связи не должна превышать 28мс. Транспортную сеть связи с числом маршрутизаторов более девяти рекомендуется организовывать по иерархической схеме. Маршрутизаторы первого уровня иерархии соединяются по топологии "каждый с каждым" на уровне соединений системы передачи. Привязка маршрутизаторов второго уровня иерархии осуществляется по независимым линиям связи к двум маршрутизаторам первого уровня иерархии.

В случае соединения маршрутизаторов транспортных сетей связи по одной линии связи, надежность сети связи обеспечивается путем организации резервного маршрута с использованием соединения между маршрутизаторами более низшего уровня иерархии транспортной сети связи. Предпочтительным является первый способ, поскольку как при передаче информации по основному маршруту, так и при переходе на резервный маршрут, суммарная задержка обработки пакета в маршрутизаторах одинакова. При втором способе, при переходе на резервный маршрут эта задержка увеличивается вдвое.

В транспортных сетях связи рекомендуется использовать протоколы MPLS и OSPF, что направлено на обеспечение надежности сети связи, снижение сетевой задержки, упрощение конфигурации и обслуживания сети связи. Обеспечение надежности достигается использованием механизмов протоколов MPLS и OSPF по перемаршрутизации трафика в случае аварий. Снижение сетевой задержки обусловлено свойствами протоколов MPLS, обеспечивающими коммутацию пакетов IP без анализа их заголовка. Упрощение конфигурации и обслуживания сети связи обеспечивается за счет автоматизации управления трафиком, предусмотренной в протоколе OSPF.

В транспортных сетях связи при отказе маршрутизатора или линии связи должен осуществляться переход на резервный маршрут с помощью механизма Fast Reroute протокола MPLS. Резервирование линий связи должно обеспечиваться средствами систем передачи.

В транспортных сетях связи должно применяться оборудование, обеспечивающее сохранение возможности обслуживания телефонной нагрузки в условиях атак DoS со стороны сети Интернет.

Муниципальные и городские транспортные сети связи должны создаваться по топологиям "кольцо" или "звезда". При этом рекомендуется создавать два разнесенных узла, к которым осуществляется подключение узлов муниципальной или городской транспортной сети связи по двум независимым линиям связи. Целесообразно, чтобы узлы муниципальных транспортных сетей связи, подключаемые к узлам более высокой иерархии транспортной сети связи, резервировали друг друга. В муниципальной транспортной сети связи предпочтительнее использовать технологии Ethernet поверх системы передачи, что при отсутствии маршрутизации в транспортной сети позволяет упростить конфигурацию и обслуживание оборудования. Муниципальные сети должны обеспечивать перенос различного типа трафика с разными классами услуг в соответствующих VLAN.

### ***Возникающие проблемы роста и способы преодоления этих проблем.***

Основные проблемы роста сетей, прежде всего сетей абонентского доступа, связаны с проблемой "окончания свободных портов" и применения принципов присоединения оборудования доступа в свободный "абонентский порт" или с нарушением уровней иерархии оборудования. Обычно такие решения в ходе эксплуатации сетей называют временными, что называется для "подхвата абонентов", но вовремя не проведенная по вышеуказанным принципам структуризация или реструктуризация сети, очень часто приводит к частичной или иногда полной потере доступа абонентов к услуге. Также, это очень часто приводит к изменению нагрузочной способности в сети в связи с повышением объема служебного трафика. За этим необходимо следить всегда и недопускать частого применения таких временных решений. Лучше заранее реструктурировать сеть и иметь зарезервированные порты для подключения дополнительного оборудования доступа в сеть на нужном уровне иерархии.

Еще одной, часто встречающейся проблемой на сетях доступа, является проблема потери синхронизации оборудованием при переключении с резервного пути на основной. Связана она с недостаточной проработкой этого вопроса и недостаточным количеством источников синхронизации или неправильной последовательностью их применения. Эта информация обычно размечается в базах или файлах конфигурации оборудования. Устраняется такая проблема дополнением списка источников синхронизации и правильным указанием последовательности их применения. Проведение испытаний по правильному переключению источников синхронизации в обязательном порядке должно проводиться до подачи в оборудование абонентского трафика. В случае невозможности проведения такого испытания на "живом" оборудовании, необходимо собрать имитационный стенд и

провести испытание на стенде и только после этого вносить изменения в конфигурацию действующего на сети оборудования.

### **Проблемы и вопросы синхронизации сетей и устройств**

Перечень основных нормативных документов регламентирующих требования к синхронизации сетей:

- Правила применения оборудования тактовой сетевой синхронизации (утверждены приказом Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 7 декабря 2006 года №161);
- Требования к построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации (утверждены приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 2 марта 2009 года №31);
- Рекомендация ITU-T G.781 «Synchronization layer functions» (06/1999);
- Рекомендация ITU-T G.811 «Timing characteristics of primary reference clocks» (09/1997);
- Рекомендация ITU-T G.812 «Timing requirements of slave clocks suitable for use as node clocks in synchronization networks» (06/2004);
- Рекомендация ITU-T G.813 «Timing characteristics of SDH equipment slave clocks» (03/2003);
- Рекомендация ITU-T G.822 «Controlled slip rate objectives on an international digital connection» (11/1988).

### **Принципы построения сети синхронизации**

Традиционно на сетях операторов связи используется метод синхронизации по принципу «ведущий – ведомый».

Данный метод синхронизации использует иерархию задающих генераторов, в которой каждый уровень иерархии синхронизируется от эталона более высокого уровня. Эталонные сигналы частоты передаются от одного уровня иерархии к другому через сеть распространения, которая использует в качестве основы транспортную сеть.

Задающий генератор, находящийся в режиме удержания, может использоваться для синхронизации оборудования только своего уровня иерархии, синхронизировать от него оборудование более высокого уровня иерархии недопустимо.

Таблица 1. Уровни иерархии задающих генераторов

<b>Уровень иерархии</b>	<b>Номер рекомендации ITU-T, определяющий характеристики задающего генератора</b>
ПЭГ - первичный эталонный генератор ПЭИ - первичный эталонный источник	G.811
ВЗГ - вторичный задающий генератор	G.812 (тип I)
МЗГ - местный задающий генератор	G.812 (тип VI)
ГСЭ - генератор сетевого элемента СЦИ	G.813

## Режимы синхронизации

### Синхронный

В синхронном режиме все задающие генераторы сети синхронизируются от одного ПЭГ, при этом проскальзывания происходят пренебрежимо редко и носят случайный характер. Это нормальный режим работы сети. Этот режим используется в пределах одного региона синхронизации.

### Псевдосинхронный

В псевдосинхронном режиме задающие генераторы сети синхронизируются от разных ПЭГ, при этом происходит не более одного проскальзывания за 70 суток, что не оказывает влияния на качество связи. Это нормальный режим работы сети. На сети операторов связи псевдосинхронный режим используется между регионами синхронизации и при взаимодействии с сетями связи других операторов.

### Плезиохронный

Плезиохронный режим работы возникает, когда генератор ведомого узла полностью теряет возможность синхронизации вследствие отказов как основного, так и всех резервных путей синхронизации, и переходит в режим удержания или свободных колебаний. Это аварийный режим работы сети. Для соблюдения норм рекомендации ITU-T G.822 по частоте проскальзываний длительность работы в плезиохронном режиме жестко ограничена по времени.

### Асинхронный

Асинхронный режим характеризуется значительно большим расхождением частот задающих генераторов, вызывает отказ работы оборудования СЦИ (синхронная цифровая иерархия) и на сети операторов связи не применяется.

## Внутриузловая и межузловая синхронизация

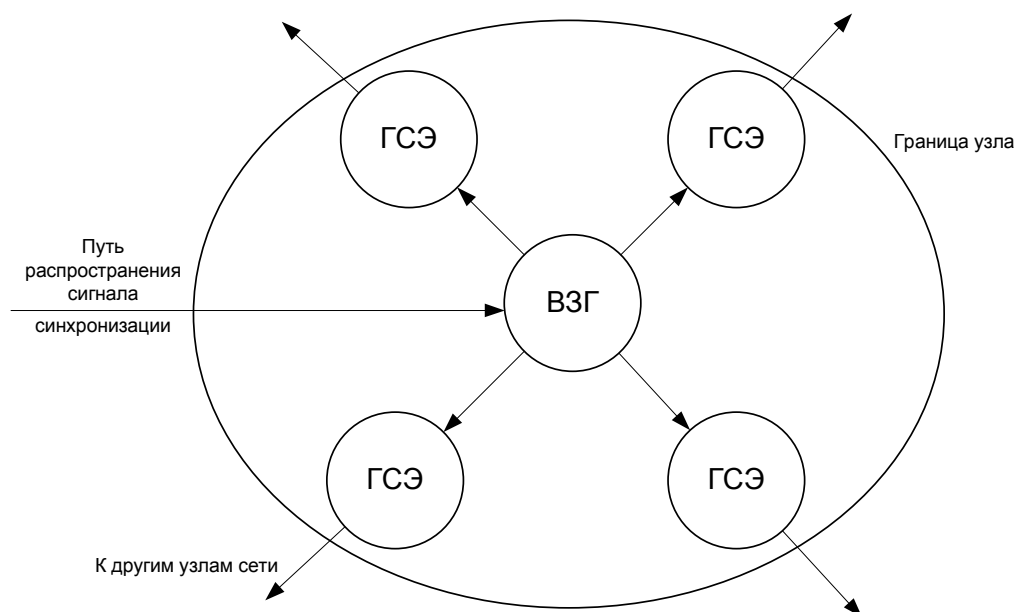


Рис. 1. Распределение сигналов синхронизации внутри узла.



Внутриузловое распределение сигналов синхронизации для узлов доступа, содержащих ВЗГ, осуществляется по логической топологии «звезда». Все задающие генераторы внутри узла получают сигнал синхронизации от ВЗГ. Исключение может быть сделано только для ГСЭ, от которого синхронизируется сам ВЗГ.

Если на узле отсутствует ВЗГ или МЗГ, то во избежание последовательного включения сетевых элементов узла необходима установка РСС — оборудование распределения сигнала синхронизации.

Межузловое распределение сигналов синхронизации осуществляется по логической топологии «дерево», включающей все узлы сети. При этой архитектуре для правильной работы сети синхронизации должны соблюдаться следующие условия:

- задающие генераторы низшего иерархического уровня только принимают сигналы синхронизации от генераторов того же или высшего иерархического уровня;
- отсутствуют петли сигналов синхронизации;
- оба этих условия соблюдаются при автоматическом переключении на резервные пути распространения сигнала синхронизации.

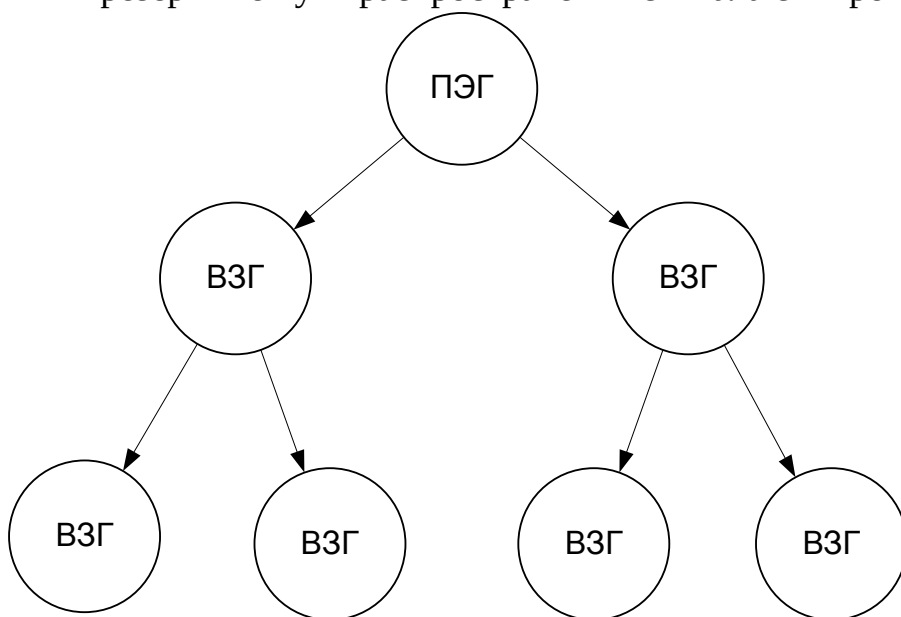


Рис. 2. Межузловое распределение сигналов синхронизации.

Сигнал синхронизации распределяется посредством метода «ведущий – ведомый» от ПЭГ ко всем задающим генераторам цепи.

Во всех случаях качество сигналов синхронизации ухудшается с увеличением числа последовательно соединенных синхронизированных генераторов. Поэтому распространение сигнала синхронизации должно происходить по кратчайшему маршруту через минимальное число промежуточных пунктов с возможно более высоким уровнем иерархии систем передачи, отдавая предпочтение волоконно-оптическим линиям связи перед цифровыми радиорелейными линиями.

Для наихудшего случая цепи синхронизации значение  $K$  - число последовательно стоящих ВЗГ от ПЭГ не должно превышать 10, значение  $N$  - число последовательно стоящих ГСЭ от ВЗГ или ПЭГ не должно превышать 20, общее количество последовательно синхронизируемых элементов сети не должно превышать 60. В этом случае на последнем элементе цепи будет обеспечено

необходимое качество сигнала синхронизации, определенное Требованиями к построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации, утвержденными приказом Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 2 марта 2009 года №31.

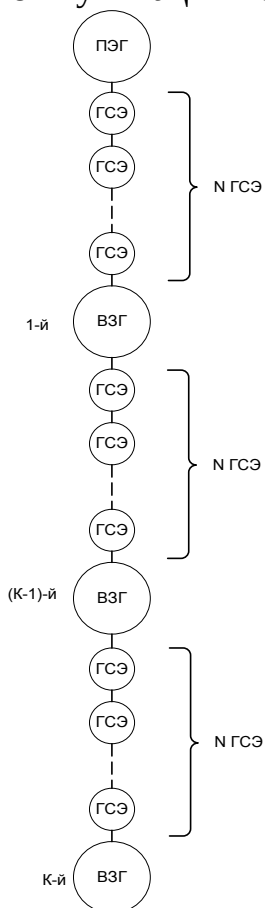


Рис. 3. Последовательное распределение сигнала синхронизации.

Каждый элемент цепи синхронизации должен получать как минимум два сигнала синхронизации (основной и резервный), по возможности распространяющихся по разнесенным трассам. При пропадании основного сигнала (первого приоритета) задающий генератор должен автоматически переключаться на резервный сигнал (второго, третьего и т.д.) приоритета. При этом задающий генератор должен выбирать резервный сигнал, имеющий более высокий уровень иерархии из доступных ему на данный момент.

Для обеспечения выбора сигнала синхронизации с наиболее высоким уровнем иерархии (в том числе при аварии) используется механизм маркировки уровня качества сигналов синхронизации – SSM - Synchronization Status Messages – сообщение о статусе синхронизации в соответствии с рекомендацией ITU-T G.781.

Основной и резервный пути распространения сигнала синхронизации должны иметь по возможности одно направление, чтобы в процессе реконфигурации (в случае аварии) участвовало наименьшее количество ГСЭ.