

## 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.

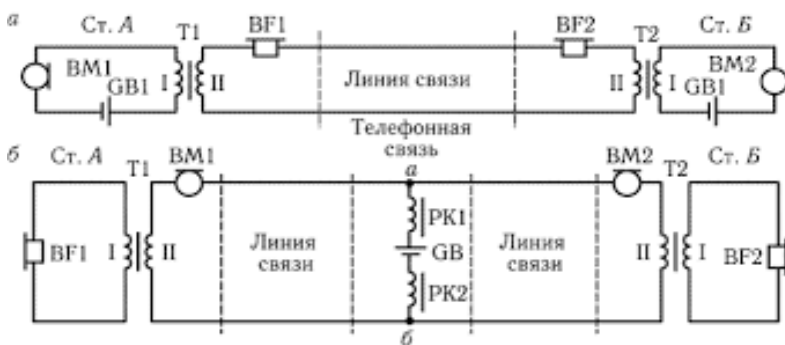


Рис.1. Варианты подачи питания в АЛ.

а) — с использованием местной батареи.

б) — с использованием центральной батареи.

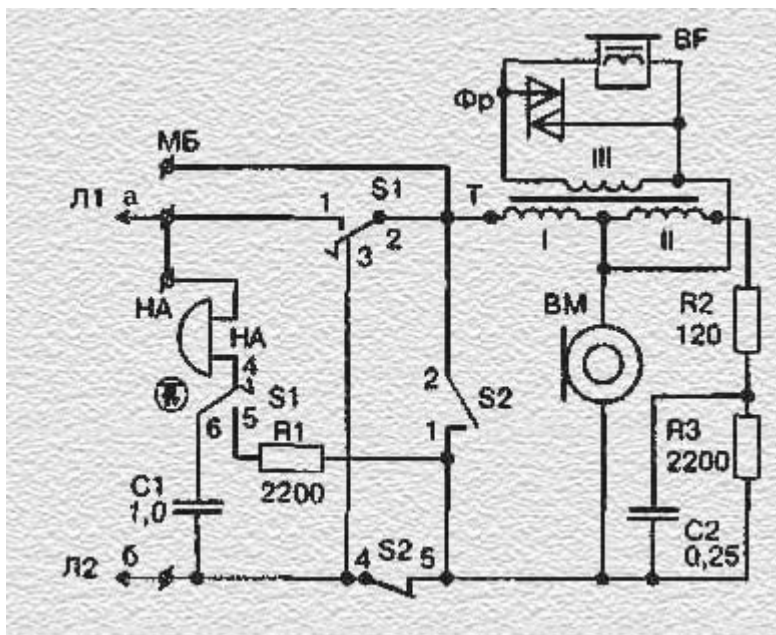


Рис.2. Обобщенная схема ТА.

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.

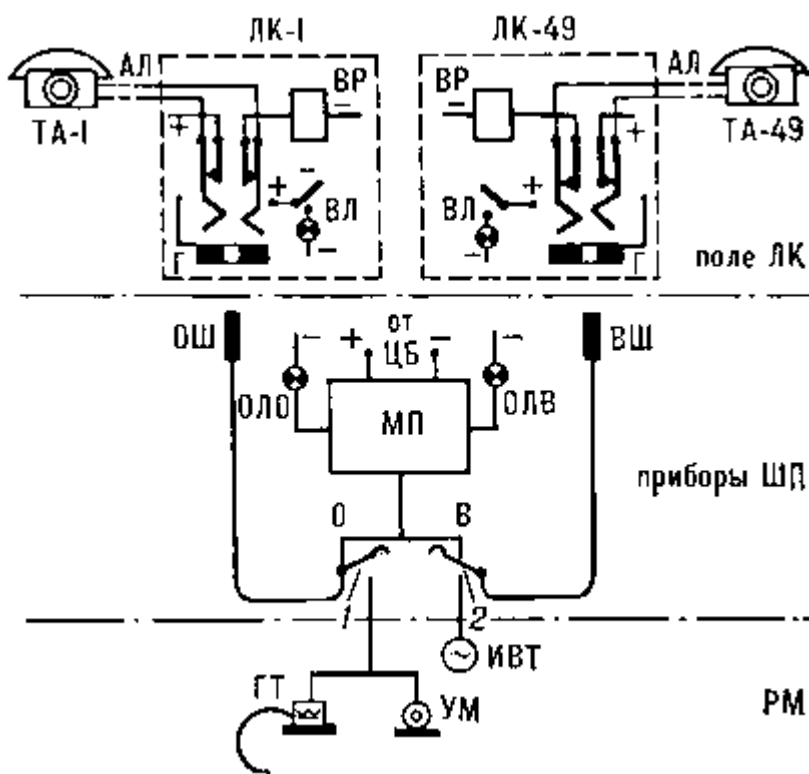


Рис.3. Схема ручного коммутатора.

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.

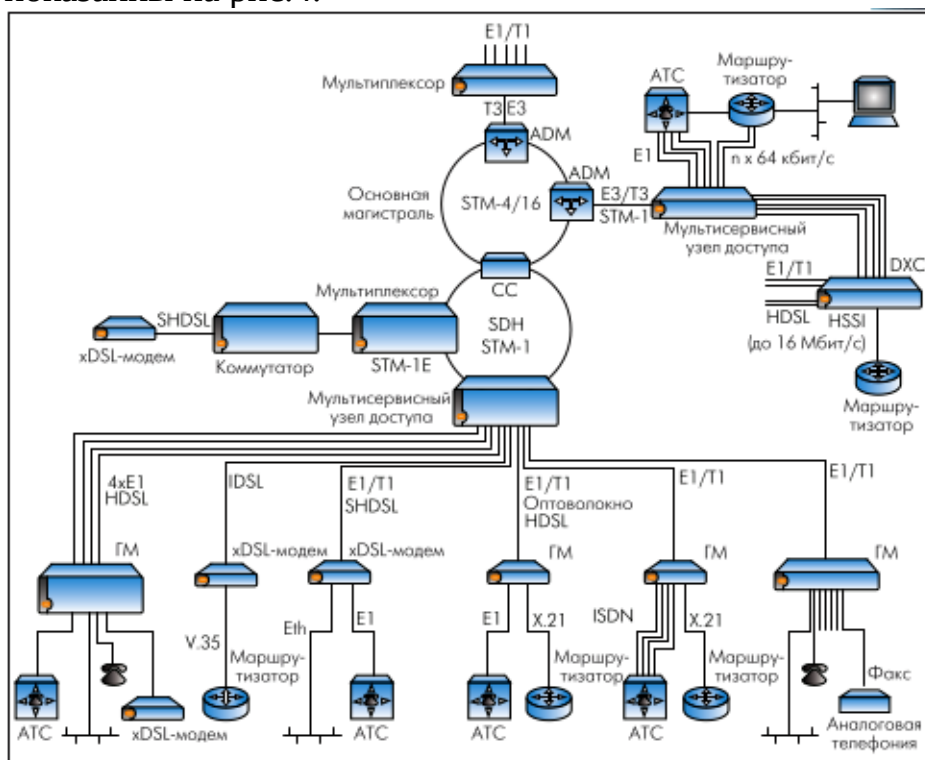


Рис.4. Варианты организации современной сети доступа.

### 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).

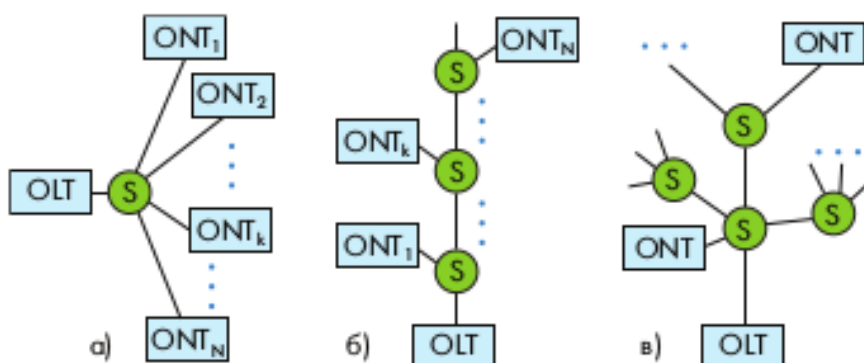


Рис. 5. Топологии PON.

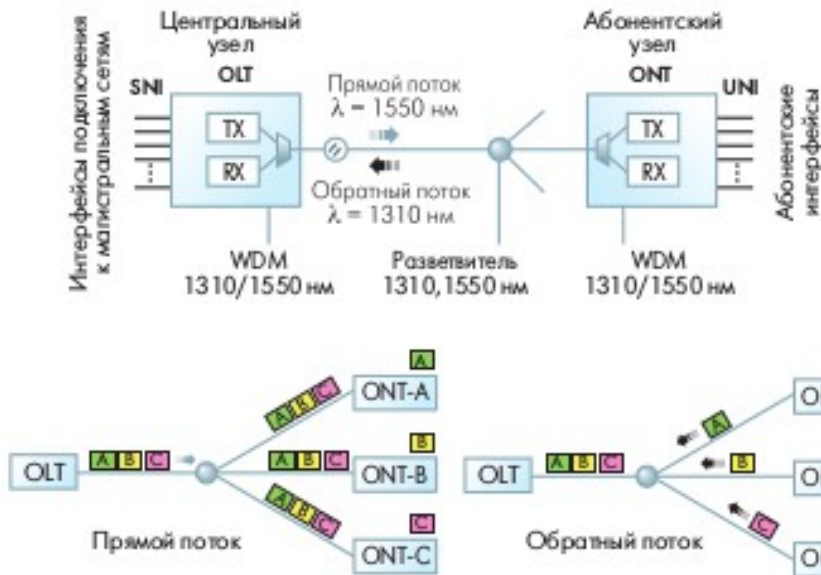


Рис. 6. Принцип работы PON.

### 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.