

## Занятие № 25. “Принципы построения и направления развития сетей абонентского доступа”

В связи с качественными изменениями, происходящими в развитии технологий построения современных ТКС, понятие «абонентская линия» уже не отражает сути участка сети электросвязи между терминалом пользователя и коммутационной станцией. Вследствие этого появился новый, принятый уже в международных стандартах и рекомендациях, термин «*Access Network*» – «*сеть доступа*».

В отечественных публикациях чаще используется словосочетание «*сеть абонентского доступа*», что связано с традиционной терминологией ТФОП – основного владельца огромного количества уже существующих АЛ. Кроме того, русскоязычный вариант названия более четко указывает на целевое назначение сети – обеспечение доступа «абонентов».

### 1. Концептуальная модель сетей абонентского доступа

Основная проблема современных САД связана с необходимостью обеспечения доступа множества высокоскоростных абонентских систем и локальных сетей к высокоскоростным магистралям по реальным существующим и прокладываемым физическим каналам с ограниченной пропускной способностью. Данная проблема, именуемая часто «*проблемой последней мили*», привела к бурному развитию с начала 1990-х гг. и поныне всевозможных технологий построения сетей абонентского доступа, или иначе, технологий абонентского доступа.

На рис. 1 показан фрагмент телекоммуникационной сети с выделенными типовыми элементами сети абонентского доступа (преимущественно на основе ТФОП). Используются следующие сокращения: МУ – магистральный узел; УК – узел коммутации; К – удаленный концентратор; mux – мультиплексор; УД – узел доступа; BTS – базовая станция беспроводного доступа; АТ – абонентский терминал, АЛ – абонентская линия.

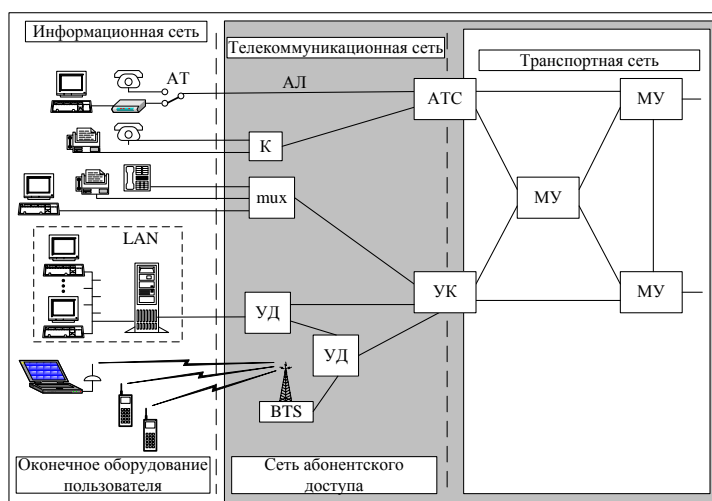


Рис. 1. Типовая структура и состав сетей абонентского доступа

В соответствии с концептуальной моделью (рис. 2) САД состоит как минимум из двух основных частей.

Первая часть представляет собой совокупность подсетей АЛ, образующих сеть АЛ, а вторая часть – подсеть доступа (именуемую еще базовой сетью, распределительной сетью или сетью переноса), которая позволяет повысить эффективность использования физической среды передачи, приблизив точки концентрации нагрузки, связанные высокоскоростными соединительными линиями (СЛ), максимально к местам скопления абонентов. При этом узлы доступа могут представлять собой мультиплексоры, объединяющие цифровые каналы АЛ, коммутаторы каналов (типа цифровой мини- или учрежденческой АТС) или коммутаторы пакетов, поддерживающие ту или иную сетевую технологию LAN или WAN.

Специальные технологии абонентского доступа нацелены прежде всего на образование цифровых каналов на основе доступной физической среды, разновидности которой можно представить двумя группами.

1. Физические среды проводного доступа:

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

2. Физические среды беспроводного доступа:

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

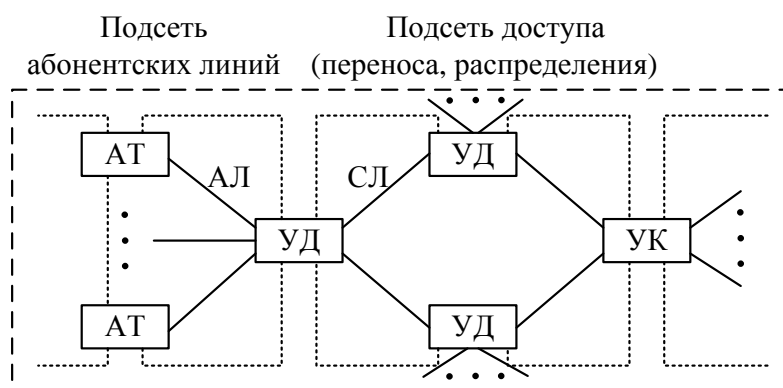


Рис. 2. Модель сети абонентского доступа

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

### Пути решения проблемы «последней мили»

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

1. **Строительство волоконно-оптических линий связи на абонентском**

**участке** имеет ряд очевидных достоинств и соответствует перспективным концепциям. Концепция применения ОК на участке «последней мили» предусматривает несколько направлений:

**FTTB** (*Fiber To The Building*) – оптика до здания;

**FTTO** (*Fiber To The Office*) – оптика до офиса;

**FTTZ** (*Fiber To The Zone*) – оптика до некоторой зоны, где группируются абоненты;

**FTTA** (*Fiber To The Apartment*) – оптика до квартиры;

**FTTC** (*Fiber To The Curb*) – оптика до кабельного шкафа;

**FTTOpt** (*Fiber To The Optimum*) – оптика до некоторой оптимальной точки.

Все эти концепции едины в главном – довести широкополосную оптическую линию связи до некоторой точки, где целесообразно поместить оборудование, распределяющее более низкоскоростные цифровые потоки (или аналоговые каналы) непосредственно до «розетки», т. е. до места включения абонентского терминала.

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

### **3. Уплотнение существующих (медно-кабельных) абонентских линий.**

Аналоговое оборудование высокочастотного уплотнения широко используется в телекоммуникационных сетях до сих пор. Однако своим подлинным расцветом данное решение обязано появлению **DSL** – *Digital Subscriber Loop (Line)* (цифровой абонентский шлейф (линия)). Технологии **xDSL** (где буква «x» является обобщенным символом различных аббревиатур, соответствующих различным вариантам DSL) позволили организовать высокоскоростную цифровую передачу по существующим АЛ (п. 3.2.2).

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

проводная разводка радиоточек (например, технология HPNA);

линии электропередач (например, известны технологии X.10 и DPL – *Digital Power Line* (цифровая силовая линия), последняя позволяет передавать данные по электропроводке со скоростью до 1 Мбит/с);

сети кабельного телевидения (во многих городах уже используются для доступа в Internet).

**4. Использование технологий беспроводного абонентского доступа.** В последнее время значительно возрос интерес к технологиям беспроводного абонентского доступа, именуемым **WLL** (*Wireless Local Loop*). Более распространенные технологии абонентского радиодоступа (в отличие от технологий беспроводного оптического доступа) сокращенно называют **RLL**

(*Radio Local Loop*).

Существует огромное множество WLL-технологий, которые можно условно разделить на две большие группы – технологии фиксированной и подвижной связи, используемые, для доступа фиксированных и подвижных абонентов соответственно. Традиционно аббревиатуру WLL используют в узком смысле для обозначения первой группы технологий – фиксированного беспроводного абонентского доступа. Технологии же подвижной, или, иначе, «мобильной», связи обычно рассматривают как самостоятельную группу технологий, среди которых принято различать технологии сотовой, транкинговой, пейджинговой и спутниковой связи.

## 2. Проблемы проводного абонентского доступа и пути их решения

Основной проблемой высокоскоростной передачи информации по медно-кабельным линиям являются искажения, возникающие из-за всевозможных нелинейностей среды передачи и трактов обработки, и неидеальности проводного пространственного разделения каналов, приводящей к появлению взаимных помех, мощность которых растет с увеличением длины проводов, а также мощности и ширины спектра передаваемых сигналов.

На рис. 3 показано упрощенное символическое изображение физической среды передачи в виде «туннеля» с ограниченной шириной  $\Delta F$  и высотой  $P_c$ , проход по которому осложняется наличием «бурлящего потока» помех с уровнем  $P_{ш}$ .

Указанные ограничения сечения «туннеля» являются ресурсными ограничениями доступной физической среды передачи, влияющими на величину максимальной возможной скорости передачи  $V_{б\max}$ .

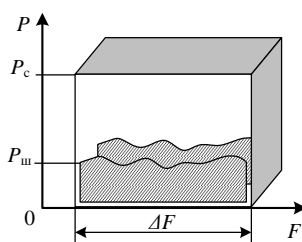


Рис. 3. Модель среды передачи с ограниченной пропускной способностью

Задачей системы передачи является реализация такого алгоритма формирования и обработки сигналов, который бы позволил передать через «туннель» (см. рис. 3) как можно больше информации в единицу времени.

При использовании простых двухпозиционных сигналов с посимвольным приемом обычно справедливо равенство  $V_{б\max} \approx \Delta F$ . За счет устранения межсимвольной интерференции, как доказано Найквистом, можно добиться максимальной скорости  $V_{б\max} = 2\Delta F$ . Более точно указанный предел отражает максимальную скорость  $V_{с\max}$ , выраженную в символ в секунду или бодах. В более общем случае при использовании многопозиционных сигналов с

основанием кода  $m \geq 1$  и соответствующим количеством различаемых градаций сигналов  $M = 2^m$  теоретически можно достичь скорости  $V_{\text{б max}}$ , выраженной в битах в секунду:

$$V_{\text{б max}} = V_{\text{с max}} m = 2\Delta F m = 2\Delta F \cdot \log_2 M. \quad (1)$$

Согласно выражению (1) за счет увеличения позиционности сигналов можно было бы до бесконечности увеличивать скорость в канале с ограниченной полосой. Однако с ростом количества градаций информационных параметров сигналов при ограниченной максимальной мощности  $P_{\text{с}}$  между соседними градациями будет все меньше отличий и рано или поздно начнут сказываться ошибки их выделения при приеме из-за помех с ненулевой мощностью  $P_{\text{ш}}$ . Клод Шеннон доказал, что за счет использования сложных алгоритмов формирования и обработки сигналов (приводящих, правда, к большому увеличению задержки) в канале с помехами можно приблизиться к следующей максимальной скорости, зависящей от параметров  $\Delta F$ ,  $P_{\text{с}}$  и  $P_{\text{ш}}$  физической среды (см. рис. 3):

$$V_{\text{б max}} = \Delta F \cdot \log_2(1 + P_{\text{с}}/P_{\text{ш}}). \quad (2)$$

Если в формулу (2) подставить характеристики канала ТЧ ( $\Delta F \approx 3$  кГц,  $P_{\text{с}}/P_{\text{ш}} \gg 1$ ), то оказывается справедливой следующая оценка (с учетом преобразования  $\log_b a = \log_c a / \log_c b$ ):

$$V_{\text{б max}} [\text{кбит/с}] \approx 3 \cdot 10 \lg(P_{\text{с}}/P_{\text{ш}}) / 10 \lg 2 = 10 \lg(P_{\text{с}}/P_{\text{ш}}) = P_{\text{с}}/P_{\text{ш}} [\text{дБ}], \quad (3)$$

т. е. максимальная скорость передачи информации по каналу ТЧ, выраженная в килобитах в секунду, примерно равна отношению сигнал/шум, выраженному в децибелах.

Предел скорости, оцениваемый по формуле (3), объясняет предельные скорости 30–40 кбит/с современных модемов, используемых для доступа в Internet через каналы ТФОП с шумовой защищенностью  $P_{\text{с}}/P_{\text{ш}} \approx 30$ –40 дБ.

Наиболее известными современными несимметричными модемами, позволяющими достигнуть максимума возможностей из каналов ТЧ ТФОП, образованных аналоговыми абонентскими линиями, ЦАТС и ОЦК-64, являются протоколы x2: K56flex и V.90 (до 56 кбит/с в направлении сеть – абонент и до 33 кбит в направлении абонент – сеть), а также V.92 (за счет повышения качества обработки и сжатия сигналов в пределе возможно увеличение скорости до 42 кбит/с в направлении абонент – сеть, но при достаточно большой шумовой защищенности).

Для получения еще больших скоростей требуется расширять используемую полосу частот в АЛ, которая для витой пары может достигать 2–120 МГц при приемлемом затухании на дальностях от сотен метров до единиц километров. Это и было сделано при разработке технологий построения цифровых абонентских линий xDSL.

### 3. Примеры построения сетей проводного абонентского доступа на базе оптоволокна

В качестве примера концепций построения САД на базе оптоволокна

можно привести разработанные в середине 1990-х гг.

Концепция **IFOS** (*Integrated Fiber-Optic Subscriber system*) – интегрированная оптоволоконная система абонентского доступа. Согласно данной концепции внедрение оптического кабеля (ОК) в САД должно пройти три основные фазы. На первой фазе ОК будет использоваться преимущественно для предоставления большого количества узкополосных цифровых каналов типа ОЦК 64 кбит/с и первичных трактов цифровых систем передачи (Т1/Е1). На второй фазе добавятся широкополосные каналы, передающие информацию в одном направлении (распределение программ кабельного телевидения, высококачественного звукового вещания и считывание информации из сети Internet). Третья фаза подразумевает возможность предоставления дуплексных широкополосных каналов, используемых, например, для организации стыков пользователь – сеть в широкополосной ЦСИС и в конечном итоге вплоть до мультимедийных конференций.

С рассмотренными тремя фазами реализации концепции IFOS сопоставимы три самостоятельные концепции (рис. 4).

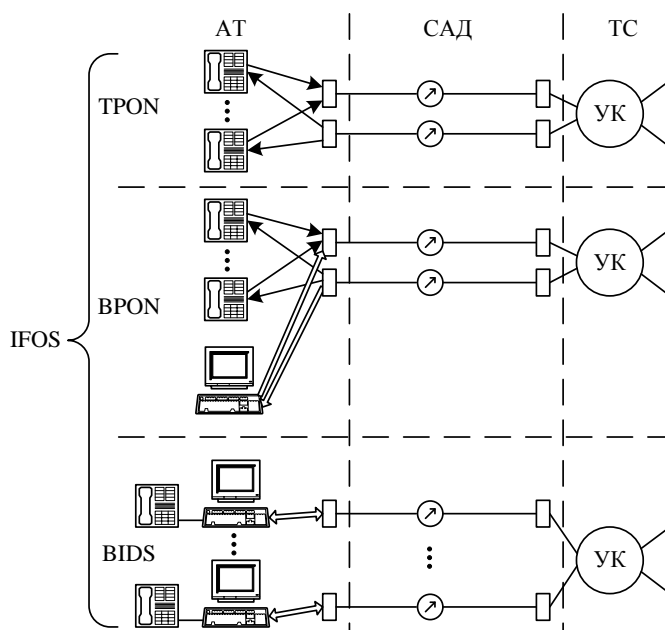


Рис. 4. Концепции построения САД на базе оптоволоконна

Концепция **TPON** (*Telephony over a Passive Optical Network*) – телефония на базе пассивных оптических сетей. Данная концепция предполагает использование широкополосных каналов доступа для большого числа пользователей, нуждающихся в относительно низкоскоростных (узкополосных) каналах (в частности, телефонных). Под пассивными оптическими сетями понимаются сети, включающие только одноинтервальные волоконно-оптические линии без регенераторов, т. е. без активных усилительных устройств.

Концепция **BPON** (*Broadband over a Passive Optical Network*) –

широкополосные сети на базе пассивных оптических сетей. Данная концепция является развитием предыдущей. Реализация концепции ВРОН предполагается тогда, когда возникнет спрос на широкополосные (например, мультимедийные) услуги. Один из сценариев предоставления широкополосных каналов заключается в использовании дополнительных длин волн для приема дополнительных широкополосных сигналов (что уже реализовано в технологии DWDM).

Концепция **BIDS** (*Broadband Integrated Distributed Star*) – широкополосная интегрированная «звездообразная» (радиальная) сеть доступа. Данная концепция ориентирована на предоставление широкополосных каналов. Слово «Star» (звезда) в названии концепции подчеркивает тот факт, что к каждому сетевому окончанию подводится индивидуальное волокно. В целом прогрессивная концепция доведения оптоволокна до каждого абонента изначально не относилась к вариантам организации доступа к широкополосной ЦСИС. Телевизионный и другие широкополосные сигналы, получаемые со стороны станционного оборудования, предполагались аналоговыми и объединяемыми с речевой информацией, преобразованной в цифровой вид, только для передачи по единой направляющей системе. В настоящее время с появлением стандартов цифрового радио- и телевизионного вещания подобные взгляды выглядят устаревшими.

#### 4. Технологии проводного абонентского доступа по медному кабелю xDSL

В последние годы разработано множество новых технологий организации цифровых трактов на обычном медном кабеле, которые позволяют добиться высокой пропускной способности, низкой себестоимости и высокого качества связи. Общее обозначение данных технологий соответствует аббревиатуре DSL - *Digital Subscriber Line* (ЦАЛ).

«Классические» xDSL-технологии используют для передачи сигналов симметричные пары медных проводов, причем различаются количеством используемых пар и способом разделения.

Самым простым и очевидным способом разделения сигналов, передаваемых в различных направлениях, является передача данных в прямом (сеть – абонент) и обратном (абонент – сеть) направлениях по разным парам (симплексное пространственное разделение). В этом случае говорят об однонаправленной технологии **UDSL** (*Unidirectional DSL*). Естественно, требуется двойной расход проводов.

Большая часть технологий xDSL является дуплексной, т. е. передача происходит по одной паре в прямом и обратном направлениях. Дуплексные технологии xDSL можно разделить по соотношению скоростей передачи в прямом и обратном направлениях. Если скорости в обоих направлениях одинаковы, то говорят о симметричных технологиях **SDSL** (*Symmetric DSL*). В асимметричных технологиях **ADSL** (*Asymmetric DSL*) скорость передачи в прямом направлении (из сети) намного выше, чем в обратном (от абонента).

Существует также технология **RDSL** (*Reverse ADSL*), согласно которой скорость передачи в обратном направлении больше, чем в прямом, однако используется она редко (из-за больших переходных помех).

Краткий перечень разновидностей наиболее распространенных xDSL-технологий и их основные характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

### Характеристики основных xDSL-технологий

Шифр	Скорость передачи	Длина (без регенераторов)	Особенности
DSL	До 160 кбит/с	До 7,5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Дуплексная передача по одной медной паре. Первоначально – для реализации U-стыка BRI ISDN
IDSL	До 128 кбит/с	До 7,5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Дуплексная передача по одной медной паре для доступа в Internet, минуя коммутатор каналов ISDN
HDSL	768/1024 кбит/с по одной паре; 2048 кбит/с по двум-трем парам медного кабеля	От 5 км (диаметр провода 0,5 мм) до 18 км (диаметр провода 1,2 мм)	Прием и передача группового сигнала по одному многожильному кабелю. Первоначально – для реализации U-стыка PRI ISDN
SDSL (MDSL, MSDSL, G.shdsl)	160–2320 кбит/с	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Рекомендуется для замены HDSL. Наиболее популярная группа симметричных технологий
ADSL (CDSL)	До 6,144 Мбит/с (из сети); до 640 кбит/с (от абонента)	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Рекомендуется для доступа к услугам Internet с сохранением телефонного канала
UADSL	До 1,536 Мбит/с (из сети); до 384 кбит/с (от абонента)	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Простота и установки и эксплуатации. Использование – аналогично ADSL
RADSL	До 8,192 Мбит/с (из сети); до 640 кбит/с (от абонента)	До 3–5 км в зависимости от скорости и диаметра провода	Автоматически подбирается наиболее подходящая скорость передачи в соответствии с условиями в линии
VDSL	До 51 Мбит/с (из сети); до 1,6 Мбит/с (от абонента)	До 100–300 м в зависимости от скорости и диаметра провода	Самая высокоскоростная технология доступа (например, к сети ATM). Может использоваться в подсети абонентских линий для наращивания оптического кабеля

Положительный опыт производства и использования DSL-оборудования в сетях абонентского доступа привел к появлению аналогичных систем для цифровизации существующих магистральных медно-кабельных линий, которые пока еще слишком дорого заменять волокном. Хотя технологии xDSL и рассматриваются как временная замена оптоволоконных АЛ, они еще долго будут востребованы в сетях абонентского доступа.