

Конкурентные преимущества решений и оборудования, тенденции развития

В ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ АКТИВНО РАСТЕТ КОЛИЧЕСТВО ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ, ПОДКЛЮЧАЮЩИХСЯ К ИНТЕРНЕТ ПО ШИРОКОПОЛОСНЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ. В СТАТЬЕ РАССМОТРЕНЫ РАЗЛИЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО РЕАЛИЗАЦИИ ШПД ДЛЯ ОПЕРАТОРОВ ФИКСИРОВАННОЙ СВЯЗИ. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РЕШЕНИЙ ПРИВЕДЕНА НА ПРИМЕРЕ ОБОРУДОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ПОСТАВЩИКОВ.



Оленин С.Ю.,
Начальник отдела развития
ОАО "АСВТ"
sergey@olenin.com

Одной из тенденций последних лет является разрастание сетей широкополосного доступа и сервисов на их основе. Причем, если лет пять назад ШПД был востребован преимущественно юридическими лицами, то теперь движущей силой ШПД являются физические лица. Рынок ШПД динамически развивается, на их основе появляются новые сервисы (например, IPTV). Новые приложения становятся нормой жизни для домашних пользователей (например, видеоконференция с использованием SKYPE).

Каким образом реализуется сеть ШПД? В данной статье рассмотрим типовые схемы построения сетей ШПД на уровне абонентского доступа и дадим сравнительную характеристику используемого оборудования.

Сети широкополосного доступа можно условно разделить на проводные (наземные) и беспроводные. Проводные (наземные) сети ШПД могут строиться по трем технологиям:

- xDSL;

- прямое подключение к порту коммутатора уровня доступа;
- подключение к оптическому порту.

Автор специально избегает терминологии FTTH, так как считаю ее слишком общей и позволяющей описать все возможные комбинации.

Сети беспроводного широкополосного доступа также можно разделить на три класса — pre-WiMax, WiMAX и 3G.

Конечно, трудно назвать pre-WiMAX технологией, так как не существует такого стандарта, но надо отдать должное этим сетям — они предопределили приход WiMax сетей.

Прежде чем приступить к рассмотрению вышеперечисленных технологий, необходимо определить требования к сервисам, используемым абонентами. В табл. 1 приведен расчет полосы пропускания, занимаемой каждым сервисом.

Также при расчетах потребности канала можно применить формулы расчета. Расчет нагрузки телефонного трафика очень хорошо раскрыт в работе "Все о теории Эрланга" [2]. Исходя из этой статьи и практических подтверждений, телефонный трафик считается 1:4 (на 4 абонентов требуется 1 канал между узлом и опорной сетью). При расчете требований канала связи для доступа в Интернет используют следующую формулу: ("кол-во абон."* "ср. скорость безлимитных тарифов")*20%.

Рассмотрим решения по реализации абонентского доступа к перечисленным сервисам по различным технологиям.

Технология xDSL. Подробно технология xDSL была рассмотрено в статье "Доступное семейство" (Connect, 10.2008). Данное семейство представлено очень большим выбором оборудования. Основное, что их объединяет — работы по кабелю третьей категории, т.е. то, что обычно составляет городские распределительные телефонные сети. Срок службы таких кабелей может исчисляться десятками лет. Широкое распространение в секторе ШПД получили стандарты ADSL и

Таблице 1

Расчет полосы пропускания, занимаемый каждым сервисом

Описание сервиса	Требуемая скорость	Средняя продолжительность пользования сервиса в день
Одно голосовое соединение кодеком G.711 (скорость кодирования голоса 64кбит/с)	88 кбит/с	15 мин
Одно голосовое соединение кодеком G.729 (скорость кодирования голоса 8кбит/с).	24 кбит/с	15 мин
IPTV. Телевизионный канал стандартного качества, кодек MPEG-4	2 Мбит/с	4 ч
IPTV. Телевизионная передача повышенного качества, кодек MPEG-4	5-6,5 Мбит/с	1 ч
Видео по запросу, стандартное качество, кодек MPEG-4	2 Мбит/с	1 ч
Видео по запросу, повышенное качество, кодек MPEG-4	5-6,5 Мбит/с	30 мин
Цифровое радио	384 кбит/с	4 ч
Доступ в интернет	1 Мбит/с	2 ч
Skype и ему подобные	128 кбит/с	30 мин
Видеосвязь, сетевые видеокамеры	384 кбит/с	30 мин
Сетевые игры	128 кбит/с	1 ч

VDSL. Массовое применение данного типа оборудования в среде существенных операторов с абонентской базой в десятки и сотни миллионов абонентов сделало оборудование этого стандарта доступным. Явной положительной чертой также является возможность работать на большие (километровые) расстояния совместно с традиционной телефонной связью. В то же время с ростом расстояния скорость соединения между устройствами, работающими по протоколу ADSL и VDSL, резко падает. Отрицательно сказывается явление взаимного влияния жил, по которым предоставляется услуга, в многопарных кабелях. Опытным путем установлено, что реально в кабеле может быть задействовано до 50% пар под технологию ADSL2+ (здесь и далее будет рассматриваться только версия 2+) или VDSL. Также к минусам ADSL следует отнести асимметричность услуги. В настоящее время действительность ШПД такова, что ее движителем являются сервисы на основе WEB2.0 (т.е. те сервисы, где поставщиком контента является сам пользователь). Эти сервисы ориентированы на высокие скорости канала к пользователю и от пользователя, так как он сам выполняет загрузку данных (это может быть как обычный текстовый фрагмент, так и фотографии с высоким разрешением или видеодатчики). В ближайшее время пользователь сам начнет производить телевизионную трансляцию. По крайней мере сейчас все механизмы доступны. Достаточно дать удобный тариф — и у нас появится ничуть не меньше исходящего трафика (по сравнению с входящим). Конечно, можно перевести таких пользователей на стандарт VDSL. Тем более, что все современные шасси (DSLAM) позволяют устанавливать платы с различными типами интерфейсов. Но опять влияет ограничение по расстоянию и скорости. Для VDSL эти параметры еще более критичны и составляют до 1,5 км (для сравнения: ADSL2+ работает до 7 км). Что же касается услуг, то современные шасси поддерживают все необходимые протоколы управления качеством сервисов, мультимедиа и позволяют транслировать голос и ТВ по технологии IP. В продаже имеются специальные ADSL-модемы с портами FXS, что позволяет подключать их к SoftSwitch оператора. Такая модель уже укладывается в идеологию IMS. Но наиболее типовая схема применения оборудования xDSL — в разделении сервисов на узле. При этом по медной распределительной сети подается голосовая связь для подключения обычных аналоговых телефонов и осуществляется передача данных, посредством которой поль-

зователь получает доступ в Интернет и к другим IP-сервисам. Ввиду применения оборудования операторского класса, надежность его работы достаточно высока. Также высоки и эксплуатационные характеристики, так как все оборудование сконцентрировано в одном месте. Процесс подключения заключается в кроссировании линий на кроссах (линей-

ном и стационарном) и установке у пользователя фильтра и ADSL-модема. Несколько вариантов реализации решений ШПД на основе xDSL приведено на рис. 1.

Прямое подключение к порту коммутатора уровня доступа. Данная технология получила свое развитие лет 8-10 назад и началась она как внутримодовая локальная сеть.

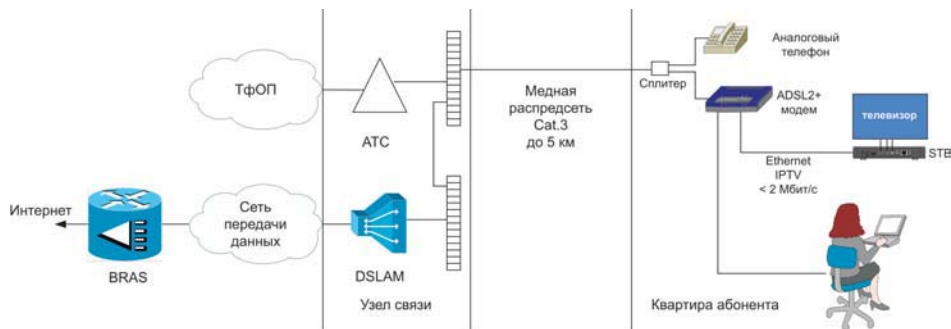
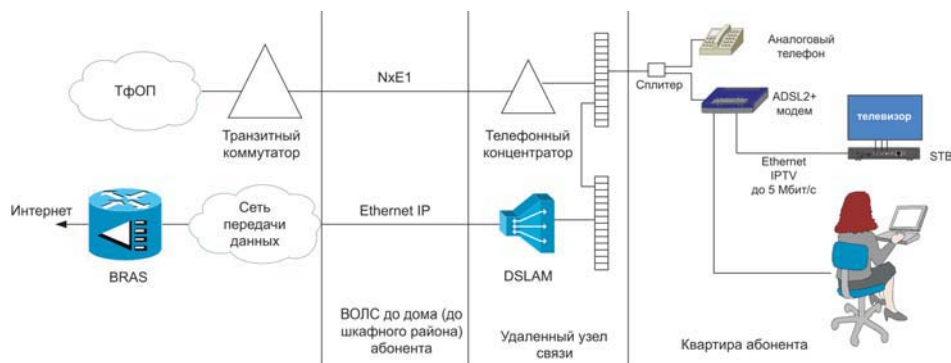


Рис. 1. Реализация ШПД на основе ADSL2+

DSLAM размещается на телефонной станции

Преимущество: используется существующая инфраструктура

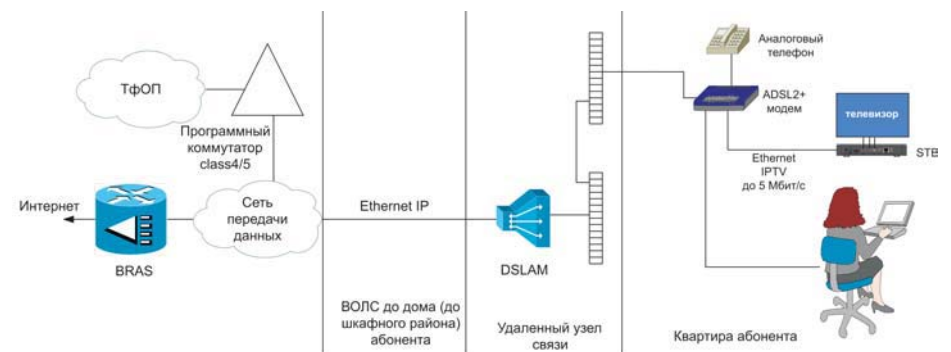
Недостатки: большая удаленность от абонентов, невысокая скорость



DSLAM и телефонный концентратор выносятся как можно ближе к абоненту (в идеале — размещаются в подъезде)

Преимущество: высокая скорость

Недостатки: требуется строительство ВОЛС до шкафных районов/дома



Телефонный концентратор замещается программным коммутатором (реализация модели "все через IP" и идеологии IMS)

Преимущество: высокая скорость, подключение через одно устройство

Недостатки: требуется строительство ВОЛС до шкафных районов/дома и ИБП у абонента (только для телефонной связи)

Таблица 2

Критерий выбора оборудования уровня доступа

Особенности	ME-3400-24TS metrobase	ME-3400-24TS metroaccess	C-2960-TC-S Lite	C-2960-TC-L Base	D-Link 3526	QTECH-2900	Edge-Core ES3528M	Zyxel 2024A	LS-6224/OS-6624
Фабрика коммутации	8,8 Гбт/с	8,8 Гбт/с	16 Гбт/с	16 Гбт/с	8,8 Гбт/с	19,2 Гбт/с	8,8 Гбт/с	8,8 Гбт/с	12,8 Гбт/с
Количество поддерживаемых VLAN	1005	1005	64	255	255	4к	255	4к	4к
Поддержка Jumbo-frames для пропускa QinQ и HVPLS	Да	Да	Да	Да	Нет	Да			
QinQ port based Для VPN сервисов	Нет	QinQ port based только metroaccess поддерживает QinQ selective	Нет	Нет	Нет	QinQ port based QinQ selective	Нет	Нет	Нет
Port isolation and PVLAN	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Нет
Агрегирование линков LACP	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
Динамическая регистрация vlan, протокол GVRP	НЕТ	НЕТ	802.1Q only	802.1Q only	Да	Да	Да	Да	
Управление и мониторинг	Есть	Есть	SNMP v3 + Radius auth + SSHv2 + Syslog + RMON	SNMP v3 + Radius auth + SSHv2 + Syslog + RMON	SNMP v3 + Radius auth + SSHv2 + Syslog + RMON	SNMP v3 + Radius auth + SSHv2 + Syslog	SNMP v3 + Radius auth	SNMP v3 + Radius auth	SNMP + Radius auth + SSH + Syslog + RMON
Защита от сетевых атак	Да	Да	Да	Да	Нет	Attack defend + Control plane security	Нет	Нет	
Ethernet Security	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Контроль пользователей, Clips (DHCP op.82 + IP Source Guard)	Нет	Да	только 802.1x	802.1x и Clips	Да	Да, ERRP Clips+dhcp snooping+dhcp op.82+ IP Source guard PPPoE plus передает на BRAS сетевое имя коммутатора, номер порта и др.параметры	только 802.1x	только 802.1x	только 802.1x
Защита от топологических изменений в кольце, протокол MSTP	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да	
Защита Ethernet кольца с минимальной задержкой	нет	Да, REP	Нет, только MSTP, более 2 секунд, неприемлемо для сервисов реального времени (нет REP)	Нет, только MSTP, более 2 секунд, неприемлемо для сервисов реального времени (нет REP)	Только MSTP, более 2 секунд, неприемлемо для сервисов реального времени	Да, ERRP	Нет, только MSTP, более 2 секунд, неприемлемо для сервисов реального времени (нет REP)	Нет, только MSTP, более 2 секунд, неприемлемо для сервисов реального времени (нет REP)	Нет, только MSTP, более 2 секунд, неприемлемо для сервисов реального времени (нет REP)
Приоритизация графика 802.1p	Есть	Есть	802.1p QoS четыре очереди	802.1p и DCSP QoS четыре очереди	802.1p QoS четыре очереди	802.1p QoS четыре очереди	802.1p и DCSP QoS четыре очереди	802.1p и DCSP QoS четыре очереди	802.1p и DCSP QoS четыре очереди
Контроль полосы пропускa	Есть	Есть	CAR по 64 kb/s	CAR по 64 kb/s		CAR по 64 kb/s			
Защита от штормов	Только бродкаст и loop detect	Да	Только блокировка порта от штормов бродкаст, мультикаст, юникаст и неизвестный юникаст. Remote loop detection	Только блокировка порта от штормов бродкаст, мультикаст, юникаст и неизвестный юникаст. Remote loop detection	Только блокировка порта при бродкаст шторме и Remote Loop detect	Да, подавление штормов бродкаст, мультикаст, юникаст. Remote loop detect	Только блокировка порта при бродкаст шторме и Remote Loop detect	Только блокировка порта при бродкаст шторме и Remote Loop detect	Только блокировка порта при бродкаст шторме и Remote Loop detect
Мультикастовый трафик	IGMP + MVR	Есть	Только IGMP v3,	IGMP v3 и MVR	Есть, но медленный без защиты провайдера	IGMP v3 + cross-VLAN multicast sory+ Fast Leave + GMRP + MVR	Есть, но медленный без защиты провайдера	Есть, но медленный без защиты провайдера	Только IGMP v3,
Поддерживаемых мультикаст групп	1000	1000	255	255	128	1024			
Глубина коммутаторов, легкость установки в шкафы	242 мм	242 мм	236 мм	236 мм	207 мм	160 мм	160 мм	175 мм	230 мм
Энергопотребление	25 w	25 w	30w, только AC	30w, питание AC или DC	25 w	25 w	25 w	25 w	25 w
Широкий рабочий диапазон температур	Нет, от 0 до 40 С	Нет, от 0 до 40 С	Да, от 0 до 40 С	Да, от 0 до 40 С	Да, от 0 до 40 С	Да, от -15 до 55 С	Да, от 0 до 40 С	Да, от 0 до 40 С	Да, от 0 до 40 С

В то время на такой сети реализовывался единственный сервис — многопользовательские (как модно это называть) игры. Такая сеть строилась энтузиастами с использованием дешевого оборудования. По мере роста сети и подключения ее к Интернету росли и реализуемые сервисы (доступ в Интернет, те же многопользовательские игры, файловые архивы). Постепенно дешевое оборудование исчезает с этих сетей, и они приобретают вид классических кампусных локальных сетей с четким разделением уровней (как в учебниках Cisco). Соответственно растет стоимость и качество применяемого оборудования. Для реализации сервисов IP, критичных ко времени (это голосовые сервисы, IPTV), необходима поддержка модели QoS на всей сети, вплоть до абонента. Это накладывает обязательства использования управляемых коммутаторов L2 на последнем уровне доступа. Все коммутаторы сети соединяются высокоскоростными каналами (1G, и даже 10G). Пользователей подключают на скорости до 100 Мбит/с. Процесс подключения пользователей заключается в прокладке кабеля "витая пара" до квартиры абонента и включении его в сетевую карту (разъем) абонентского компьютера. Но при этом существуют следующие минусы: расстояние от порта коммутатора до абонентского устройства не должно превышать 100 м (для скорости 100 Мбит/с) или 120-150 м (для скорости 10 Мбит/с). При строительстве и эксплуатации такой сети возникает множество вопросов по планированию (например, обеспечение кольцевания сегментов сети в целях быстрого восстановления), размещению оборудования (в каждом здании необходимо разместить активное оборудование, подвести к нему питание, установить ИБП, обеспечить безопасность установки (вандалозащищенность) и проведению пр. мероприятий. Для реализации прочих сервисов (например, телефонная связь и/или IPTV) пользователю требуется установить дома дополнительное оборудование. В большинстве случаев домашний комплект пользователя выглядит следующим образом:

- коммутатор управляемый малого типа (например, D-Link DIR-100 или Qtech QSW-2500-A) — обязательное устройство, осуществляющее разделение входящих VLAN на сервисы и обеспечение QoS;

- для услуг местной телефонной связи: аналоговый шлюз (одно- или двухпортовый) или VoIP-телефон (имеется радиотелефон стандарта DECT с подключением по SIP) и ИБП для обеспечения функционирования те-

лефонной связи в течение часа с момента пропададения электричества (см. Приказ Минсвязи);
 — для услуг IPTV: STB (одно или два, в зависимости от количества ТВ-приемников). До каждого STB необходимо проложить кабель "витая пара".

Подключение к оптическому порту. Данное техническое решение может иметь два варианта реализации: с использованием медиаконвертеров и с использованием технологии PON (пассивных оптических сетей). Подключение с использованием медиаконвертеров в принципе ничем не отличается от описанного выше решения "Прямое подключение к порту коммутатора уровня доступа", разве что требует как минимум одно волокно в каждый дом и место в доме для установки активного оборудования.

Более интересно решение PON. Оно также, как и xDSL, отличается стандартами реализации. Различают APON (ATM PON), BPON (Broadband PON), GPON (Gigabit over ATM PON), EPON (Ethernet PON), GEAPON (Gigabit Ethernet PON). Сейчас в разработке находится стандарт 10GPON. В то же время, несмотря на утвержденные ITU-T и IEEE стандарты, оборудование PON различных производителей практически не совместимо. Единственным положительным моментом в технологии PON можно считать возможность строительства сети на малом количестве оптических волокон и отсутствие необходимости реализации бесперебойного питания в промежуточных узлах. По сути, мы строим некое дерево и ответвляем от основной ветки абонентские подключения. При строительстве PON следует очень тщательно проектировать структуру сети, подсчитывать энергетику (так как ослабление сигнала происходит на каждом оптическом сплитере). Кроме того, технология PON напоминает радиосреду, потому что все абонентские устройства используют концепцию множественного доступа с временным разделением TDMA (time division multiple access). Таким образом, при полной загрузке дерева (до 32/64 абонентских устройств на одну ветку) средняя скорость на одного абонента составит 15-30 Мбит/с. Абонентские устройства оборудованы портами FE, POTS, CARV, GE. Несколько вариантов реализации решений ШПД на основе оборудования PON приведено на рис. 2.

Мы рассмотрели различные схемы реализации уровня распределения и абонентского доступа. Попробуем провести ценовую оценку предложенных решений.

Начнем с оборудования ADSL. Здесь все

зависит от предпочтения оператора. Если используется оборудование ведущих вендоров (например, Alcatel, HUAWEI, Ericsson, NSN), то все они предполагают установку на узле оператора и питание 48/60В. Такие производители, которые ориентированы на малый и средний бизнес (например, D-Link, Zyxel и пр.), выпускают устройства с питанием на 220В и начальной емкостью от 12 портов. При этом средняя стоимость порта составляет 80-120 долл. Прибавим к этому стоимость ADSL-модема (30 долл.) и получим стоимость абонентского подключения 110-150 долл. без учета стоимости распределительной сети. Внутридомовая сеть категории 3 обходится в 55 долл. на пару. Магистральная часть распределителя составит 35 долл. за пару (мы берем идеальный вариант, когда нет необхо-

димости строить канализацию и выполнять прочие общестроительные работы). Таким образом, стоимость ADSL решения составит 240 долл. на абонента. При оказании услуг телефонной связи необходимо установить телефонный концентратор. Если мы говорим о решении "All-over-IP", то его стоимость составит от 50 долл. (например, оборудование фирмы "Протей" серии iMak) до 100 долл. (например, оборудование фирмы AudioCodes MP124) за аналоговый абонентский порт. В этом случае стоимость решения TriplePlay на ADSL составит от 290 до 340 долл. с учетом стоимости распределителя или от 200 до 250 долл. без учета стоимости строительства распределителя (например, если используется существующая или застройщик самостоятельно ее построил и подарил опе-

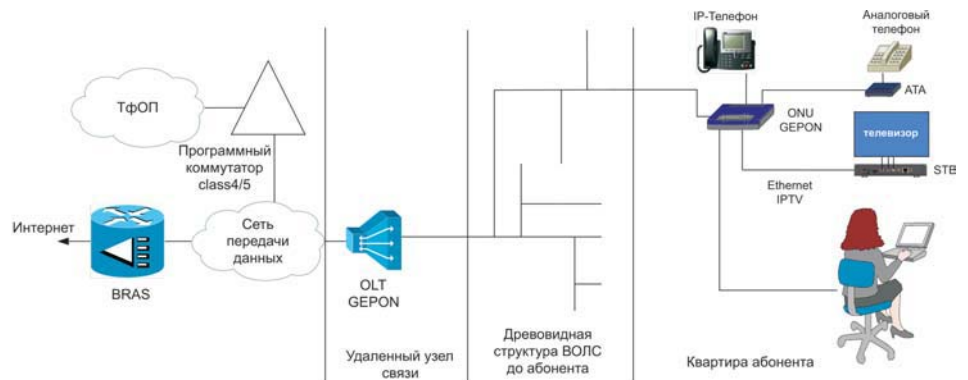
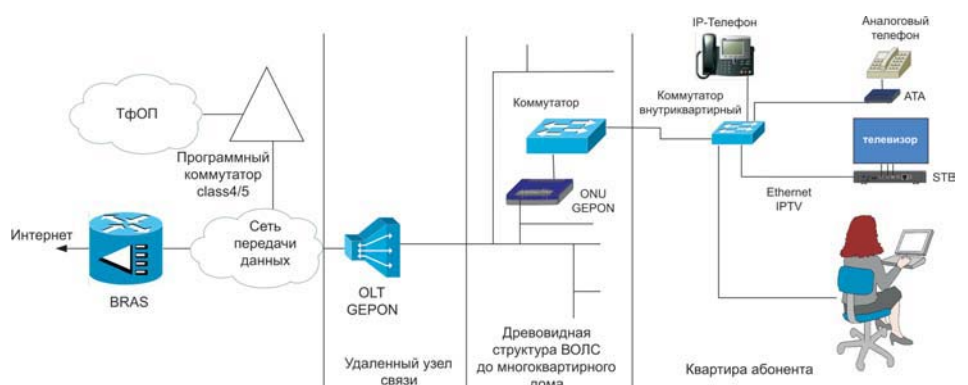


Рис. 1. Реализация ШПД на основе GERON

Преимущество: высокая скорость

(при полной загрузке дерева скорость составляет 30-60 Мбит/с на одно ONU),
 подключение сервисов через одно устройство

Недостатки: требуется строительство ВОЛС до квартиры абонента и ИБП у абонента (только для телефонной связи)



Преимущество: использование одного волокна для подключения группы домов (полная загрузка — 32/64 дома),

Недостатки: требуется строительство ВОЛС до дома и ИБП у абонента (только для телефонной связи), низкая скорость на дом (при полной загрузке дерева скорость составляет 30-60 Мбит/с на одно ONU)

ратору). Максимально допустимая скорость в данном решении 7Мбит/с к абоненту и 758 кбит/с от абонента (простой ADSL) и 24 Мбит/с к абоненту и 1 Мбит/с от абонента (ADSL2+). Такие скорости достигаются при близком нахождении DSLAM к абоненту (расстояние до абонента составляет менее 1 км). Таким образом, эффективным будет размещение оборудования в непосредственной близости от объекта (например, в настоящее время МГТС производит замену шкафных районов на интеллектуальные шкафы, включающие в себя: абонентский широкополосный доступ на основе DSLAM Huawei, телефонный IP-концентратор производства компании NSN, кроссы оптические, медные, система ИБП и охранной сигнализации). При этом стоимость возрастает до 300-320 долл. на порт.

При реализации дополнительных сервисов у абонентов (IPTV) потребуется заменить ADSL-модем (опционально, если изначально не устанавливался модем с дополнительными FE-портами), установить STB.

Гораздо сложнее ситуация с выбором оборудования для реализации решения "Прямое подключение к порту коммутатора уровня доступа". Как уже оговаривалось выше, оборудование должно быть управляемым и обеспечивать QoS. Анализ выбора оборудования по необходимым критериям приведен в табл. 2.

Наиболее интересным на текущий момент представляется решение компании QTech (российский производитель). Далее идет оборудование D-Link и Edge-Core. Стоимость QSW-2900 с двумя оптическими SFP составит 480 долл., при этом оборудование обеспечивает подключение 24 клиентов. Стоимость порта составит 20 долл. Для обеспечения бесперебойного функционирования оборудования установим ИБП, а для защиты — антивандальный шкаф. Вместе со всей обвязкой (подключение к электропитанию, шкаф, ИБП, шнуры и пр.) затраты составят 100 долл. на порт. В итоге (без учета стоимости прокладки "витой пары") стоимость данного решения составит 20 долл. на порт. Стоимость протяжки кабеля до абонента, его обжим и подключение обходится в 50 долл. В итоге оператор тратит на реализацию проекта 129 долл.

Если потребуется подключить дополни-

Решение	Интернет	Интернет+Телефония	Интернет+Телефония+TV (IPTV, CATV)
ADSL2+	240	290-340	290-340+STB
Ethernet	129	284-416	284-416+STB
Медиаконверторы	170	325-457	325-457+STB
PON	255	255-410	340-630+STB

тельный сервис, то затраты составят:

- коммутатор DIR-100: 27 долл.;
- аналоговый SIP-шлюз: от 58 долл. (Planet ATA-150S) до 180 дол. США (Cisco ATA-188);
- ИБП: из расчета нагрузки 15Вт на 1 час (например, APC BE400-RS) стоимостью 70-80 долл.

Таким образом, реализация услуги телефонной связи обойдется в 155-287 долл.

При решении "Подключение к оптическому порту" с использованием медиаконвертора требуется протянуть до абонента оптический кабель (от 50 долл.) и установить два медиаконвертора (например, производства компании Planet, стоимостью 60 долл. каждый).

При использовании решения PON стоимость одного абонентского порта составит от 255 долл. (самое простое решение) до 530 долл. (за решение с интегрированным 2xPOTS, CATV). В данном случае учтена стоимость головной станции и сплитеров. Дополнительно рекомендуется поставить у абонента ИБП. Так как потребление абонентского устройства PON низкое (15Вт), то достаточно установить APC BE400-RS. Таким образом, стоимость подключения абонента с учетом оптического кросса составит от 340 долл. (единичный сервис — доступ в Интернет) до 630 долл.

Из всех рассмотренных решений экономически более выгодным является "Прямое подключение к порту коммутатора уровня доступа" (см. табл. 3, строка Ethernet). Конечно, выигрыш в скорости, индивидуальное подключение (до каждого абонента прокладывается прямой кабель от порта коммутатора до абонентского устройства), хорошая управляемость сети, возможность резервирования, надежность, резерв по развитию (можно строить 10G и раздавать абонентам порты 1G).

Что касается дальнейшего развития решений ШПД, то видится равномерное развитие всех рассмотренных технологий. Каждая из них занимает свою нишу.

ADSL: хорошо применяется при наличии медных распределительных сетей небольшой протяженности (до 1 км).

Ethernet: многоэтажные жилые дома.

Медиаконверторы: подключение удаленных абонентов к существующей сети.

PON: незаменим при реконструкции сетей кабельного телевидения и при телефонизации коттеджного поселка.

Исходя из этого, можно сделать вывод, что ADSL будет приближаться к домам. Может быть, наступит время, когда медной останется только внутридомовая распределительная сеть (по крайней мере МГТС к этому стремится). Технология PON продолжит стремительно дешеветь на фоне роста спроса на нее. Конечно, производителям PON-решений необходимо договориться о едином стандарте. Но пока этого нет. А на горизонте — уже 10GPON.

Операторам можно пожелать успешного интенсивного развития и задействования всех мощностей ШПД.

Литература

1. По материалам FTТх Forum (<http://www.infor-media.ru/informedia-russia/client/index.aspx?id=conference&sub=introduction&confID=467> — дата обращения 04.03.09).
2. "Все о теории Эрланга" (Сергей Чивилев, <http://www.tsonline.ru/articles2/fix-op/vse-o-teorii-erlanga> — дата обращения 04.03.09).
3. Беспроводные мультисервисные сети (<http://dokltd.ru/catalog/multi/index> — дата обращения 05.03.09).