

# ПЕРВАЯ МИЛЯ ПО ВОЛОКНУ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Е.Гаскевич, Р.Убайдуллаев  
Info@teralink.ru

**З**а последние пять лет значительно сместились акценты в развитии волоконно-оптических технологий (ВОТ) в пользу освоения рынка сетей доступа. В статье проанализированы факторы, способствующие этому, – рост трафика и появление новых услуг в сетях доступа. Следствием были рост полосы пропускания и модернизация ВОТ на сетях доступа, что привело к появлению экономичных и недорогих волоконно-оптических систем передачи (ВОСП). Рассмотрены особенности строительства сетей доступа в России; представлены некоторые эффективные для России ВОТ в современных сетях доступа.

Сеть доступа (последняя или первая миля) – это участок сети связи между точкой присутствия (PoP), или узлом транспортной сети оператора, и абонентами. В статье использован термин “первая миля” как соответствующий новым стандартам, чтобы показать значимость оптических проводных сетей доступа.

Оптические проводные сети доступа (рис.1) – наиболее затратное звено ВОСП, так как при их строительстве нужно создавать всю волоконно-оптическую инфраструктуру. Высокие начальные затраты были определенным препятствием в создании таких сетей в России. В результате рынок сетей доступа стал осваиваться только в начале нового тысячелетия.

Так, оптический Ethernet пришел на сети доступа после корпоративных и городских (CWDM) сетей как один из вариантов пассивных оптических сетей (PON). Какие причины приводят сегодня к развитию рынка оптических сетей доступа (ОСД), и как он развивается?

## ТЕНДЕНЦИИ МИРОВОГО РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ ДОСТУПА

- Уменьшение долгосрочных инвестиций в сети передачи широкополосного (ШП) цифрового трафика на основе витых пар и коаксиального кабеля.
- Стремление довести оптический кабель (ВОК) до абонентов.

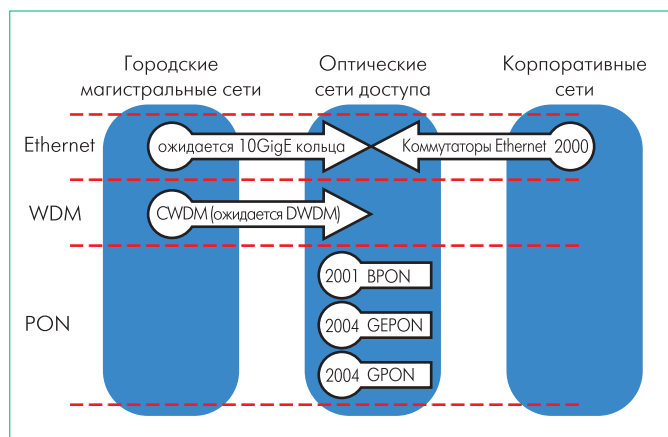


Рис.1 Проникновение ВОТ на сети доступа

- Уменьшение доли беспроводного фиксированного ШП-доступа (10–100 Мбит/с).

Основанием для этого является необходимость:

- новой проводной среды передачи в распределительных сетях со сроком службы 25–30 лет;
- среды передачи, более широкополосной, чем медная, для повышения качества и расширения спектра услуг;
- перехода на стандарты телевидения высокой четкости (HDTV) в телевидении;
- замены ТВ-приемников на LCD и плазменные панели, готовые к приему HDTV;
- внедрения домашних медиацентров, совмещающих функции DVD, игровой приставки, музыкального центра и устройства доступа в Интернет;
- поддержки Интернет видеотелефонии и формирование групп ее пользователей;
- поддержки интерактивных видеомостов – важного элемента сетей в сферах дистанционного образования, телемедицины, дистанционного оказания услуг;
- реализации услуги "видео по требованию" (VoD).

Итак, стимулом развития ШП-сетей (>10 Мбит/с на абонента) на основе ВОК является комплекс услуг triple-play на основе видео: видеотелефония, видеоданные/видеоинформация и видео по требованию.

## ПАРАДОКСЫ ВРЕМЕНИ

Они отражают особенности ТВ-сферы сегодняшнего дня:

- строительство и обслуживание системы ВОК становится сравнимым по цене или дешевле, чем системы на витых

парах или коаксиальном кабеле (например, ВОК на 8 волокон стоит меньше 700 долл./км);

- контент с видеоносителя (DVD, VCD) значительно лучше по качеству видеоконтента, принятого из эфира или обычной сети КТВ (раньше VHS-кассеты давали худшее качество, чем эфир, и тем более, чем КТВ); качество цифрового контента зависит только от скорости передачи (качество DVD требует скорости 8–10 Мбит/с, HDTV – 20 Мбит/с и выше или 10 Мбит/с для MPEG-4), стимулируя развитие ШП-сетей;
- рядовые пользователи требуют большей полосы, чем "бизнес"; раньше ШП-сети строились главным образом для "бизнеса", сегодня – для рядового пользователя (для бизнеса нужны текст и графическая информация, для рядового пользователя – цифровые видеопотоки);
- проводные операторы, развивающие современные сети доступа, уже не стремятся стать поставщиками всего спектра услуг, а осуществляют лишь подключение с возможностью мультисервисного трафика, обеспечивая абонентам лишь трафик от сервисных операторов.

## ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДОСТУПА

Основными технологиями ОСД являются: Metro Ethernet, EFM P2P, EFM P2MP (GEPON), BPON, GPON и Metro CWDM (рис.2, табл.1).

## METRO-ETHERNET

Коммутаторы Ethernet позволяют построить древовидную архитектуру с активными узлами – коммутаторами – с иерархией по скоростям от центрального узла к абонентам

Таблица 1. Сравнительный анализ трех технологий PON

Характеристики	APON/BPON	EPON (GEPON)	GPON
Стандарт	ITU-T G.983.x (1998-2003)	IEEE 802.3ah (2004)	ITU-T G.984.x(2003-04)
Базовый протокол	ATM	Ethernet	GFP
Скорость передачи, прямой/обратный поток, Мбит/с	622/622; 622/155 155/155	1000/1000	2488/1244; 2488/622 1244/1244; 1244/622
Линейный код	NRZ	8B/10B	NRZ
Максимальный радиус сети, км	20	20	20
Бюджет мощности на длине волны 1310 нм, дБ	5-20 (класс А) 10-25 (класс В) 15-30 (класс С)	5-19,5 (1000BASE-PX-10), 10-23,5 (1000BASE-PX-20)	5-20 (класс А) 10-25 (класс В) 15-30 (класс С)
Число абонентских узлов на волокно	до 32	до 32 (64)	до 32, 64 (128)
Типы приложений	любые	IP, потоки данных	любые
Коррекция ошибок типа FEC	допускается	есть	есть
Длины волн прямого/обратного потоков, нм	1590/1310, 1490/1310	1490/1310	1490/1310
Динамическое распределение полосы	есть	на верхних уровнях	есть
IP-фрагментация	есть	нет	есть
Защита данных (шифрование)	(с открытыми ключами)	есть	(с открытыми ключами)
Резервирование	есть	есть	есть
Поддержка голосовых приложений и QoS	высокая	средняя	высокая

1000/100 Мбит/с (1000Base-LX, 100Base-FX) и агрегированием трафика (с возможным резервированием – см. рис.2а). В перспективе можно использовать стандарт 10Gigabit Ethernet (10GE), который сегодня вышел на уровень городских магистральных сетей. Такую архитектуру часто имеют ОСД типа “домовых” сетей, охватывающие до нескольких десятков домов.

## EFMF P2P

Двунаправленная (дуплексная) передача Ethernet по одному волокну P2P (“точка-точка”), долгое время оставалась частным решением отдельных компаний, поставляющих на рынок медиаконвертеры Ethernet. В 2004 году она была окончательно оформлена как один из стандартов IEEE 802.3ah, а в 2005 году включена в общий стандарт 802.3. Двунаправленная передача по одному волокну осуществляется на разных длинах волн: 1490/1550 нм в одном направлении и 1310 нм в другом. При этом мультиплексоры WDM встроены в приемопередающие модули. Имеется два стандартных решения на скорости 100 и 1000 Мбит/с.

Стандартизация ликвидировала монополию отдельных компаний и привела к значительному снижению стоимости

оптических компонентов. Дуплексная передача по одному волокну вдвое сокращает число волокон и позволяет строить более экономичную кабельную систему (см. рис.2б). Типовым здесь является решение, когда в центральном узле устанавливается коммутатор с двумя up-link-портами GE и 24 оптическими портами FE для дуплексной передачи по одному волокну, а у абонента устанавливается медиаконвертер FE “оптика – витая пара”.

## EFM P2MP (GEPON)

Другое стандартное решение в рамках IEEE 802.3ah – это Ethernet на PON первой мили (EFMP). Здесь мы имеем дело с древовидной архитектурой PON, когда центральное устройство по одному волокну взаимодействует с множеством абонентских устройств P2MP (“точка-многоточка”), рис.2в. Данный стандарт получил название GEPON (гигабитный Ethernet PON, или EPON). Оптические интерфейсы для GEPON аналогичны тем, что используются в оптических сетях. Как и в стандарте GE, линейная скорость в стандарте GEPON составляет 1250 Мбит/с, учитывая схему кодирования 8В/10В.

GEPON определяется как одноволоконная сеть, использующая мультиплексирование WDM на длинах волн 1490 нм (прямой поток) и 1310 нм (обратный поток). Окно 1550 нм резервируется для добавления услуги аналогового телевидения. Физический уровень GEPON PMD (Physical Medium Dependent) предусматривает два класса интерфейсов: класс 1 для расстояний до 10 км (коэффициент деления потока 1:16) и класс 2 для расстояний до 20 км (коэффициент деления 1:16). Это позволяет оптимально по стоимости строить сети PON с широким выбором расстояний и коэффициентов деления.

## BPON

В силу достоинств PON с середины 90-х годов начинают разрабатываться стандарты, основанные на использовании этой технологии совместно с другими технологиями, в частности с доминирующей в то время технологией ATM. (Этим занимается, например, Группа FSAN – группа операторов сети доступа с полным набором услуг, 1997.) Так появляется (1998) серия стандартов PON G.983.x. на основе протокола ATM. Сначала это APON (ATM PON) со скоростью 155 Мбит/с для прямого и обратного потоков, которая позже увеличивается до 622 Мбит/с. Затем появляется термин “широкополосный PON (BPON)”, отражающий факт предоставления ШП-услуг, включая Ethernet, видео, услуги и др. BPON регламентирует введение дополнительных длин волн в рамках одного дерева PON, а также методы и топологии резервирования дерева PON для повышения надежности.

Использование протокола ATM в стандарте BPON гарантирует качество услуг связи QoS для абонентов, обеспечивая надежную передачу TDM-трафика, в частности каналов E1.

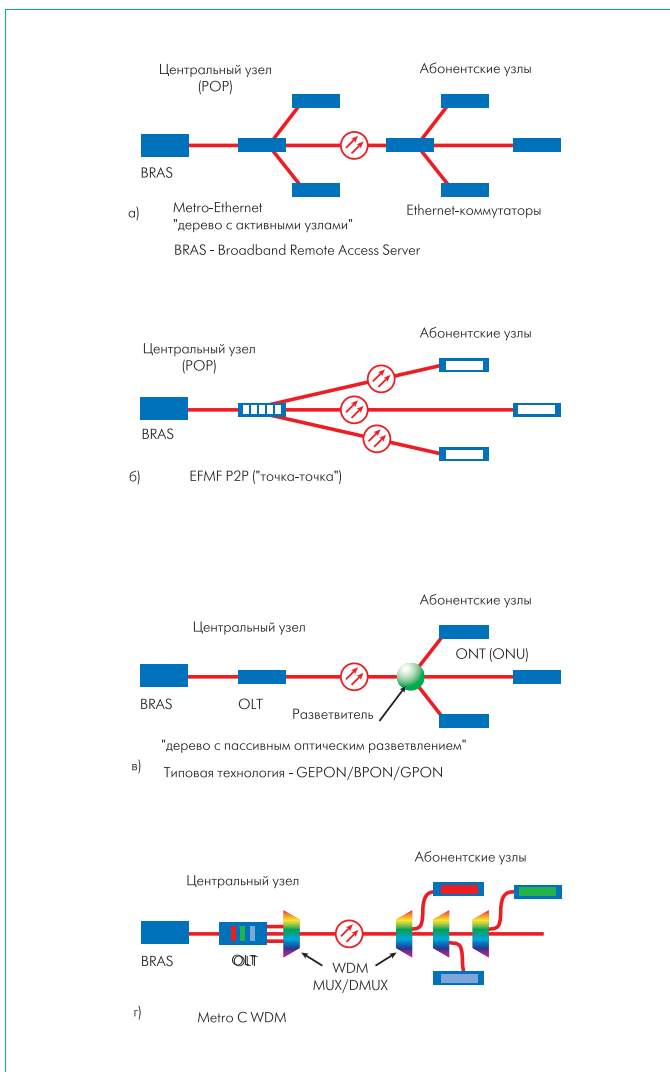


Рис.2 Основные технологии в оптических сетях доступа

## GPON

В 2001 году Группа FSAN инициирует стандартизацию новой архитектуры PON, работающей на скоростях, превышающих 1 Гбит/с. Стандарт BPON пересматривается для оптимизации гигабитных скоростей и увеличения эффективности поддержки мультисервисных приложений, системы управления и масштабируемости. Этот новый стандарт получил название гигабитный PON (GPON).

## METRO CWDM

Решения на основе разреженных систем WDM (CWDM) позволяют внутри одноволоконного дерева организовать множество соединений “точка-точка”. В центральном узле устанавливается мультиплексор, объединяющий все длины волн, а в промежуточных точках устанавливаются оптические мультиплексоры ввода-вывода (OADM) с малым числом длин волн (обычно одна), рис.2г. Допускается кольцевая топология, обеспечивающая резервирование. В рамках CWDM можно использовать 18 длин волн (1270–1610 нм, с шагом 20 нм, ITU-T G.694.2).

## КАТЕГОРИИ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ДОСТУПА

Можно выделить четыре категории ОСД.

- **FTTBusiness** – волокно к бизнес-абоненту. Это решение предназначено для подключения офисов, предприятий, банков, торговых и бизнес-центров. Это класс наиболее требовательных к качеству услуг абонентов, поэтому FTTBusiness должен удовлетворять самым высоким требованиям по надежности, функциональности и гибкости управления. Решение FTTBusiness включает два основных типа услуг – традиционные телефонные услуги (подключение УАТС абонента к ТфОП) и сеть IP (для организации виртуальных сетей, подключения к Интернет, IP-телефонии и т.п.). Конкретный тип подключения УАТС (число каналов Е1 или число и полоса IP-каналов) может быть разным и зависит от требований абонентов и возможностей операторов.
- **FTTH/FTTP** – волокно к дому, то есть волокно доходит либо до отдельного дома, коттеджа или до квартиры в многоквартирном доме.
- **FTTB** – волокно к зданию или волокно к многоквартирному дому. Здесь достигается компромисс между экономичностью и эффективностью, учитывая что волокно до квартиры дает более дорогое решение. Возникает проблема точки терминирования ВОК. Если терминировать ВОК на большем расстоянии от дома, то где размещать активное устройство для подключения абонентов, или узел MDU (узел, обслуживающий квартал жилых домов). Нужно учитывать, что сам узел требует подводки питания, а от него до квартир нужно развести витые пары. Кроме того, MDU сопрягает оптические и электрические интерфейсы. Это может быть устройство PON-MDU или коммутатор Ethernet

с оптическими up-link интерфейсами и множеством интерфейсов на витую пару. Узел в результате может превратиться в бронированную вандалобезопасную будку.

- **Волокно к сельскому району** – категория сетей доступа, которую необходимо включить в рассмотрение при обустройстве сети в России, учитывая ее большую протяженность и низкую плотность сельского населения.

В табл.2 дан анализ применимости тех или иных услуг и технологий для трех категорий ОСД.

**Таблица 2.** Охват сетями доступа разных услуг и технологий

Услуги	FTTH	FTTBusiness	FTTB
Телефония, E1	–	+	–
Телефония, VoIP, FXS	+	+	+
Интернет	+	+	+
Аналоговое видео	+	–	+
Видео по сети IP, VoIP	+	–	+
Видео по требованию, VoD	+	–	+
Видеонаблюдение	+	+	–
Видеоконференцсвязь	+	+	–
<b>Технологии</b>			
Metro Ethernet	–	+	+
EFM P2P	+	+	+
EFM P2MP (GEPON)	+	–	+
BPON	–	+	–
GPON	+	+	+
Metro CWDM/DWDM	–	–	+

## ВОЛОКНО ДО БИЗНЕСА – FTTBusiness

Строительство таких сетей началось с середины 90-х годов. В основном по оптике подключался малый и средний бизнес. Главное требования к сети – наличие каналов Е1 для организации телефонии и передачи данных в канале с гарантированной полосой пропускания. Трафик в канале симметричный и сбалансированный.

Кроме гарантии полосы пропускания, требуется надежность, конфиденциальность и ряд индивидуальных услуг, например организация выделенных каналов между офисами компании, каналов, использующих интерфейсы/протоколы V.35, X.21, Frame Relay – для подключения к банковским службам и т.п. Технологии доступа – SDH, PDH, Ethernet по оптике, PON (BPON, GPON). Что касается EPON, то для FTTBusiness рекомендуется тщательно выбирать производителей оборудования, способных обеспечить высокую доступность, необходимое качество каналов и гарантированную полосу под трафик данных. Тенденция в решениях FTTBusiness – универсализация трафика – качественный, гарантированный IP-трафик.

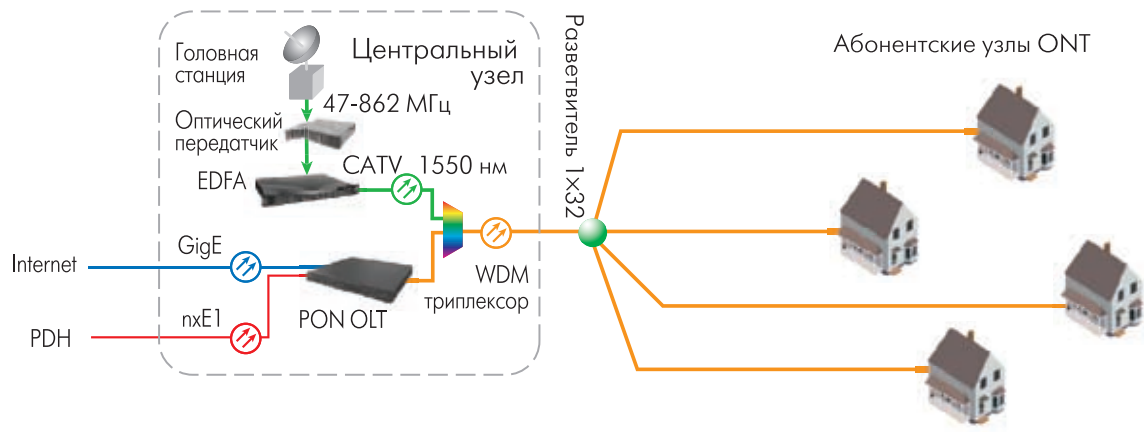


Рис.3 Решение FTTH на основе технологии PON. Центральный узел

### ВОЛОКНО ДО ДОМА – FTTH

В концепции FTTH (см. рис. 3 и 4) наиболее интересной (по сравнению с другими альтернативами термина "дом") уже сегодня является "коттедж". Как правило, это уже решение не проблемы "последней мили", а проблемы "последней сотни метров". Расстояния от узла доступа до абонента здесь от нескольких сотен метров (в случае коттеджной застройки) до сотни метров (в случае многоэтажных домов).

При строительстве сетей в рамках этой концепции нужно принимать во внимание определенные особенности, которые могут влиять на выбор сетевого решения. Оно будет зависеть от того, какой должна быть кабельная система и какие услуги нужно предоставить абонентам. В табл.3 указаны параметры, влияющие на выбор такого решения, и имеющиеся статистические данные.

Таблица 3. Различия между городом и коттеджным поселком

Параметры/особенности	Городской микро-район	Коттеджный поселок
Наличие кабельной инфраструктуры	Коаксиальный кабель (КТВ), телефонная витая пара	Кабельные коммуникации могут полностью отсутствовать
Диаметр сети, км	2–5	до 1
Платежеспособность абонента	Низкая	Средняя/высокая
Потребность в базовых сетевых услугах (CATV, Интернет, телефония)	Низкая/средняя/высокая	Высокая
Потребность в системах видеонаблюдения и пожарно-охранной сигнализации	Низкая/средняя	Ввысокая
Число абонентов	1000–2000 квартир, 50–100 много-квартирных домов	50–200 коттеджей

### ПРЕИМУЩЕСТВА СЕТЕЙ FTTH

**Высокая полоса пропускания.** Современные требования к полосе пропускания – это 20–50 Мбит/с в нисходящем

(к абонентам) потоке, и более 10 Мбит/с в восходящем. Следует отметить, что полоса 50 Мбит/с соответствует двум потокам HDTV. При широком распространении HDTV-вещания в будущем следует рассчитывать, что каждая семья будет потреблять одновременно до двух потоков видео.

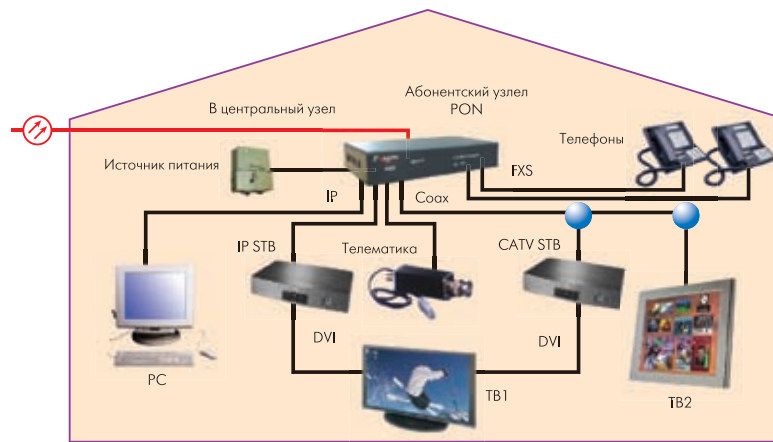
Кроме главного преимущества, ОСД обладают такими важными чертами как: конфиденциальность, повышенная надежность, меньшее число узлов с активным оборудованием.

**Конфиденциальность.** Поставить "жучок" на оптоволокно практически невозможно. А если еще учесть, что оптический сигнал предварительно скремблируется таким, например, протоколом, как GPON, то возможность прослушивания практически исключается.

**Повышенная надежность.** ВОК (в отличие от медных кабелей) не подвержены коррозии в местах сварки, а кроссовые порты не окисляются, не реагируют на влажность (как в уличных кроссах для медных кабелей) и характеризуются полным отсутствием перекрестных помех (cross-talk).

**Уменьшение числа активных элементов.** Рассмотрим, например, технологию GPON. Одно центральное устройство PON OLT может обслужить до 1–2 тысяч абонентов в радиусе 20 км. Одна стойка может вместить до четырех OLT. Таким образом, узел доступа, состоящий из двух стоек, может обслужить до 16 тысяч абонентов в этом радиусе. Примером может служить район Подмосковья, в котором есть 50–100 коттеджных поселков. Все остальные узлы ветвления исключительно пассивные и могут выглядеть как необслуживаемые уличные кроссовые шкафы или муфты.

Следующий уровень – клиентское оборудование. Оператор может иметь точку демаркации своей зоны ответственности в виде порта на оптической панели в доме абонента. Обслуживание абонентского оборудования может осуществляться сервисными центрами, как для ADSL и кабельных модемов. Такая топология и организация сети доступа существенно уменьшает затраты на ее обслуживание.



**Рис.4** Решение FTTH на основе технологии PON.  
Разводка по коттеджу или квартире

## ПРОБЛЕМЫ СЕТЕЙ FTTH

**Системы пожарно-охранной сигнализации (ПОС)**, как правило, сертифицированы для подключения по меди. На рынке в настоящее время трудно найти сертифицированные пожарно-охранные комплексы с иным основным подключением к узлу охраны. Это требует разводки медных витых пар по коттеджам или квартирам. А если уже есть медь, то зачем нужна оптика? Почему бы не организовывать ШП-доступ по стандарту VDSL2 (до 70 Мбит/с в нисходящем канале)? Ответ прост – при использовании VDSL2 значительно увеличивается число обслуживаемых узлов оператора, поскольку радиус действия модемов ограничен 1,5 км. В каждом коттеджном поселке или доме оператору нужно иметь узел доступа. Кроме того, прокладкой только витой пары не обойтись. По витым парам нельзя передавать ВЧ-сигнал аналогового телевидения – необходимо параллельно прокладывать коаксиальный кабель или оптику.

Сегодня на рынке появляются интеллектуальные системы ПОС – составляющие “умного” дома. Такие системы могут не только передавать информацию о срабатывании тех или иных реле и датчиков, но и видеокартину помещений, где сработали датчики (даже передать видеоблоки о 15-минутной предыстории до этого). Оборудование обеспечивает конфиденциальность личной жизни жильцов коттеджа или квартиры.

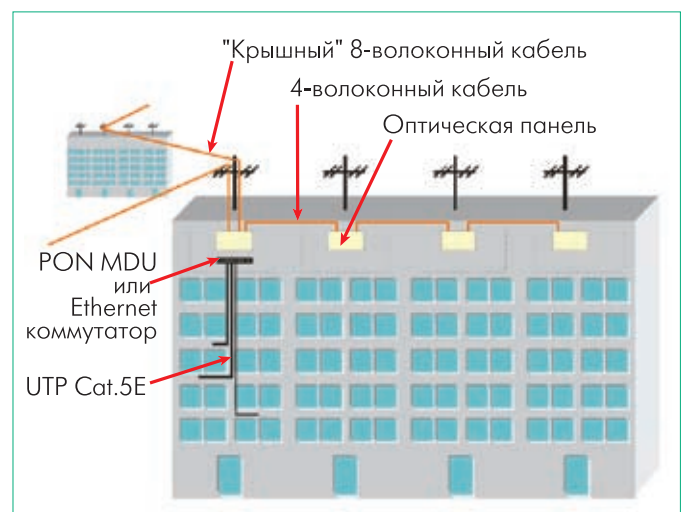
Надежность таких систем не хуже общепринятых. Они снабжены алгоритмом самотестирования и источником бесперебойного питания (ИБП). Системы требуют передачи потока 1–2 Мбит/с к охранному комплексу. Они более удобны для работы с оптикой, чем с медью, и не допускают установку устройств, симулирующих отсутствие взлома. Использование таких систем позволяет исключить “медь” из кабельной системы доступа и, следовательно, сократить затраты на прокладку кабелей.

**Проводная телефония.** Во-первых, только стандарты BPON и GPON имеют гарантированную полосу пропускания для TDM трафика телефонии. При этом OLT может играть роль выноса с подключением к АТС по каналам E1 с протоколом V5.2.

Для других технологий подключения коттеджей по оптике для телефонии используется протокол VoIP. Это не сказывается на качестве и надежности телефонных линий, но требует тщательного подбора оборудования и его настройки, чтобы исключить влияние других типов трафика. Подключение каналов VoIP к телефонной сети осуществляется или через шлюз, преобразующий VoIP в E1, или через программный коммутатор.

Во-вторых, для требуемой по стандарту надежности телефонной линии необходимо для оборудования, установленного в коттедже, иметь ИБП с 8-часовым ресурсом работы. Установка в России сложного оборудования в доме (а не в шкафу у дома, как, например, в США), приводит к трудностям его обслуживания оператором.

**Многочисленность ответвлений.** Фактически, требуется установка отдельного колодца на один-два дома для отвода волокон от внутриселской оптической магистрали. Это увеличивает стоимость кабельной канализации. При отводах в колодцы необходимо укладывать достаточные петли запаса кабеля, так как оптическую муфту можно обслуживать только вне колодца. Как вариант, можно устанавливать около коттеджей небольшие отводные колодцы, а разветвления кабелей осуществ-



**Рис.5** Разводка кабеля по дому

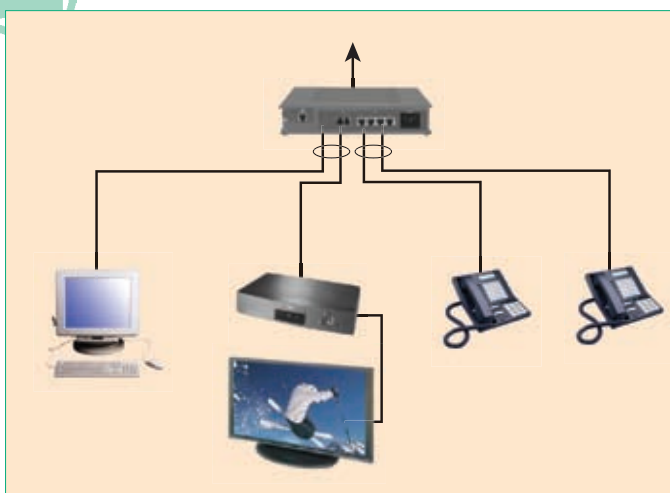


Рис.6 Разводка кабеля в квартире

влять в колодцах или уличных шкафах, обслуживающих 6–12 коттеджей. Но в этом случае кабельная канализация должна быть рассчитана на укладку нескольких (7–19) кабелей.

Эта проблема решается устройством микроканализации с последующей пневмопрокладкой оптических микромодулей. Так, например, при использовании кабелей с 24 микроканалами и отводе четырех кабелей от уличного кроссового шкафа можно подключить до 96 коттеджей на один кросс (уличный шкаф или колодец). В коттедже от кабеля отходят не волокна, а микроканалы. Это можно делать и без колодца, укладывая короб отведения непосредственно в грунт.

Кабельная микроканализация – набор полых трубок диаметром 5 мм, уложенных в кабель (до 24 трубок) диаметром до 45 мм. Кабель может быть уложен непосредственно в грунт, в кабельную канализацию или подвешен на столбах с прикреплением к несущему тросу. Оптические модули диаметром 1,5 мм могут содержать до 12 волокон. Отводной кабель диаметром 10 мм (с одной трубкой) укладывается в грунт на территории участка и через отверстия в стене заводится в дом.

### ВОЛОКНО ДО МНОГOKВАРТИРНОГО ДОМА – FTTB

Сегодня большинство альтернативных операторов, не обладая медными проводными линиями связи, используют концепцию “волокно к многоквартирному дому” для развития сети, благодаря резкому падению цен как на оборудование, так и на ВОК. Для ОСД к многоквартирным домам (рис.5) чаще всего используют ВОК воздушной прокладки. Опорами при этом служат столбы освещения и троллейбусной контактной сети, а также стойки, установленные на крышах домов, и стены зданий. Фактически начался бум по созданию ВОСП подобно тому, как это было в середине-конце 90-х годов при создании коаксиальных сетей КТВ.

Наиболее привлекательна техника прокладки “крышных” кабелей, так как при охвате жилого квартала расстояния по крышам в 1,5–2 раза короче, чем при использовании кабельной канализации. Большинство альтернативных операторов устанавли-

вает оборудование на верхнем техническом этаже, в лифтовом помещении, на лестничной клетке последнего этажа. Этому способствует и появление экономичных “крышных” кабелей отечественного производства. Эти кабели имеют выносной несущий трос и один оптический модуль. Трос выполняет роль силового элемента для ограничения деформаций модуля. Конструкция ВОК проста, легка и экономична. Например, одномодульный кабель с выносным несущим тросом (сечение типа “8”) имеет размер в сечении 4x8 мм и весит около 55 кг/км, допуская пролеты до 200–250 м. Его стоимость около 20000 руб./км, а подвеска обходится дешевле, чем подвеска коаксиального кабеля.

Для типичного микрорайона Москвы или другого крупного города России расстояние между центрами домов лежит в пределах 250–500 м, а число квартир на дом – около 200. Доля стоимости ВОК в расчете на квартиру – 25–50 руб., что даже меньше удельной стоимости разводки по зданию. “Крышный” кабель такой конструкции практически не портит внешний вид пространства между зданиями. Он выглядит как провод радиотрансляционной сети. (Сравните с толстыми пучками коаксиальных кабелей, опутывающих кварталы городов.)

Наиболее перспективные технологии доступа с экономным расходом волокон – Metro-Ethernet и однонаправленные сети HFC. Коммутаторы Ethernet второго уровня с гигабитными оптическими up-link портами существенно подешевели за последние годы, а их возможности достаточны для доставки населению ШП-каналов, обеспечивающих услуги IPTV. Например, кольцевой защищенный шлейф из 10 коммутаторов, имеющий два гигабитных подключения к серверу удаленного доступа (BRAS), может обеспечить IP-сервисом 250–500 семей. Стоимость коммутатора, удовлетворяющего всем требованиям безопасности сети с протоколами группового вещания, необходимыми для потокового IPTV, лежит в пределах 14000–28000 рублей, или 600–1200 рублей за порт. При охвате микрорайонов можно ограничиться 8–16-волоконными кабелями внутри кварталов и 16–32-волоконными кабелями для создания внутрирайонной магистрали.

Что касается сетей КТВ (HFC), то до последнего времени активно строились двунаправленные сети HFC и применялся протокол DOCSIS для организации доступа в Интернет через кабельные модемы. Один оптический узел мог обслуживать несколько десятков домов. Однако при установке оптического узла в каждом доме организация обратного канала по оптике требует множества подключений “точка-точка” по выделенным волокнам от оптических узлов до головной станции. Уже сейчас более эффективным и экономичным является решение, использующее однонаправленную сеть HFC вместе с сетью Metro-Ethernet. Такая сеть HFC может обеспечить наиболее востребованный тип видеослужбы – передачу социального пакета аналоговых ТВ-каналов и платного пакета цифровых каналов. Для приема цифровых каналов у абонента требуется установка абонентского DVB-C декодера (DVB-C STB), цена

на который немного меньше, чем на IPTV STB. Для сервиса VoD DVB-C требует такого обратного канала, для которого лучше использовать ШП-подключение по IP через сеть Metro-Ethernet, хотя более эффективным является обеспечение VoD через сеть Metro-Ethernet, используя протоколы IPTV.

Вместо Metro-Ethernet можно применить технологии PON – BPON, GPON, GPON, из которых наиболее прогрессивной является технология GPON, обеспечивающая, как и Metro-Ethernet, полосу более 2 Гбит/с на группу домов (2,5 Гбит/с в нисходящем и 1,2 Гбит/с в восходящем потоках). Сети PON совпадают по топологии с однонаправленными сетями HFC и могут использовать одни и те же волокна и систему оптических разветвителей. В настоящее время решение на основе технологий GPON и GPON превышает по стоимости решение на основе Metro-Ethernet. Однако, благодаря бурному развитию сетей PON для FTTH в США и в Юго-Восточной Азии, ожидается резкое снижение цены на компоненты оборудования GPON и GPON.

Подключение домового терминального узла PON (или ONU типа MDU) можно зарезервировать, подсоединив его к двум деревьям PON – основному и резервному. Эти сети масштабируются уменьшением числа ONU в деревьях PON (например, 2,5 Гбит/с–32 узла переходит в 2,5 Гбит/с–16 узлов) или числа абонентов в расчете на одно ONU. Дальнейшим развитием сети типа “волокно к многоквартирному дому” может быть ее преобразование в сеть “волокно к подъезду”. При этом не требуется прокладка новых кабелей между домами или увеличение числа используемых волокон в существующих кабелях, так как вместо домового ONU можно поставить оптический разветвитель, “размножив” этим волокна для “подъездных” ONU. Это делает сеть PON более привлекательной.

В случае Metro-Ethernet потребуется или увеличение числа волокон, или создание дополнительного каскада коммутаторов, или переход на 10GE.

Компании, предоставляющие КТВ-сервис, видимо, будут предлагать DVD-C для потокового видео и подключения к Интернету по каналам 256 Кбит/с – 1 Мбит/с с контролем QoS. Операторы подключения Интернет скорее всего будут предлагать ШП-доступ (10 Мбит/с и более) без аналогового КТВ, но с потоковым IP-видео.

Альтернативные телефонные операторы все больше используют на “последней миле” IP-телефонию. ШП-подключение абонентов гарантирует приемлемое качество и надежность IP-трафика. Операторы традиционной телефонии распределяют каналы E1 с помощью BPON и GPON. Использование систем PDH/SDH для распределения по ВОК каналов E1 сохранилось, так как транспорт E1 через сети Ethernet по протоколу PWE-3, несмотря на его перспективность, пока не удовлетворяет в полной мере требованиям стандартов на передачу E1.

## ВОЛОКНО ДО СЕЛЬСКОГО РАЙОНА

Проблемы сельской связи в России остаются. Они объясняются малой плотностью, низкой платежеспособностью населения, большими расстояниями и неразрешимы без господдержки. Здесь наиболее перспективна беспроводная связь. Уже сейчас в зоне действия базовых станций GSM-операторов находится большое число сел, которые обеспечены телефонией и низкоскоростными каналами Интернет. На большей части территории России доступно спутниковое ТВ. Однако там требуется создание радиорелейной или кабельной системы, формирующей ШП-каналы, которые могут обеспечить видео-конференц-связь для организации дистанционного обучения и телемедицины. Так поступают США в штатах с малой плотностью населения. В крупных селах выгоднее иметь учителей и врачей широкого профиля и обустраивать школы и медицинские пункты видеомостами к специалистам городского и районного масштабов, чем держать штат специализированных врачей и учителей.

Если ТВ-каналы в селах не могут быть получены через спутник, то нужно прокладывать ВОК. Уже сейчас это можно делать в регионах России с развитым сельским хозяйством (Кубань, Ставрополье, Ростовская область). Оптика оказывается дешевле других проводных технологий и радиорелейной связи. При этом для прокладки ВОК можно использовать сети ЛЭП, охватывающие все сельские населенные пункты, и столбы телеграфной связи. Наиболее эффективно использование маловолоконных экономичных кабелей, таких как “крышная восьмерка”, либо навивной технологии укладки тонкого (4 мм) кабеля на фазные провода для ЛЭП 6/10/35 кВ и телеграфных воздушных линий. При таком подходе и массовом строительстве кабельных систем в сельской местности можно обеспечить себестоимость менее 55 000 руб/км.

Распределительную сеть в селе разумнее всего строить на беспроводных технологиях – DECT, WiFi, WiMAX и дециметровых ТВ-микротрансляторах. Так, при расстоянии между селами 15–20 км и числе домов в них 1000 можно обеспечить (при использовании ЛЭП) себестоимость оптической линии на уровне 1 млн. руб. в расчете на село. Стоимость базовой станции WiFi (WiMAX) с учетом дециметрового ТВ – 300 тыс. руб. Тогда (в пересчете на дом) себестоимость в расчете на одного абонента составит менее 2500 руб., включая абонентский комплект: Интернет и аналоговое ТВ.

**Заключение.** Строительство ОСД важно, так как ВОК – это и долгосрочные вложения в инфраструктуру развития современных услуг и наиболее экономичный вариант среди проводных сетей доступа. Главное не то, сколько волокон в ВОК, а то, как близко ВОК подходит к абоненту. Прогресс в области ВОТ намного опережает требования рынка в плане реализуемой полосы пропускания. Тот, кто строит кабельную систему доступа с использованием ВОК, уже сейчас имеет возможность найти недорогое и эффективное оборудование для предоставления широкого спектра услуг.