

АРХИТЕКТУРА ПАССИВНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ GEAPON

Рассматриваются технологии и оборудование для организации пассивных оптических сетей — семейства быстро развивающихся, наиболее перспективных технологий широкополосного мультисервисного доступа по оптическому волокну. Основными отличиями пассивных оптических сетей от классических оптических каналов связи являются использование для агрегации трафика пассивного оборудования — оптических сплиттеров и высокая плотность портов. Рост числа подключенных пользователей и старт первых проектов класса волокно в каждый дом, основанных на пассивных оптических сетях, показывает, что данная технология успешно развивается.

Ключевые слова: пассивная оптическая сеть, гигабитная локальная пассивная оптическая сеть, архитектура сети, оптическое волокно.

Введение

В настоящее время все более широкое распространение получают пассивные оптические сети — Passive Optical Network (PON). Основными отличиями PON от классических оптических каналов связи являются использование для агрегации трафика пассивного оборудования — оптических сплиттеров и высокой плотности портов [1, 2].

GEAPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) является видом технологии PON и представляет собой новую перспективную технологию широкополосного доступа с использованием оптоволоконного кабеля. GEAPON основывается на древовидной топологии с пассивными сплиттерами (разветвителями) на узлах. Технология GEAPON поддерживает очень высокую скорость в 1 Гбит/с и позволяет максимально использовать возможности оптоволокна [3].

Известно, что требования потребителей к скорости доставки информации из Интернет растут по экспоненте. Сегодня в крупных городах 10-30 Мбит/с являются совершенно обычным делом. Причины этого процесса остаются неизменными уже давно — передача голоса и видео, мультимедиа, телевидение (в последнее время также и в версии высокого разрешения).

Существенную часть затрат любого провайдерского проекта несет кабельная инфраструктура. Причем здесь учитывается не только стоимость кабеля, но и его прокладки, которая в случае работы в уже существующей инфраструктуре может быть очень велика. С этой точки зрения оптические каналы связи сегодня это наиболее производительный и «дальнобойный» способ обеспечения сетевого соединения устройств. При этом классическая архитектура предполагает топологию «точка-точка», когда каждая линия имеет свои выделенные порты с каждой стороны, а при необходимости создания «ответвлений» требуется установка активного оборудования в узле. Так что наиболее удачно она может использоваться для одиночных линий большой протяженности.

Однако в некоторых ситуациях более удобной может оказаться древовидная топология, которая интересна с точки зрения масштабируемости и сниженной общей длины прокладываемых кабелей. Как раз для подобных проектов и подходит PON. Рост числа подключенных пользователей и старт первых проектов класса волокно в каждый дом (Fiber To The Home, FTTH), основанных на PON, показывает, что технология прижилась и у нас.

Структура сети PON

Сеть PON состоит из нескольких элементов — коммутатора на узле связи, линий связи с пассивными сплиттерами в узлах сети и модемов на стороне абонентов. К каждому модему поступают все пакеты от коммутатора, а во время передачи используется временное мультиплексирование кадров (рис.1, 2).

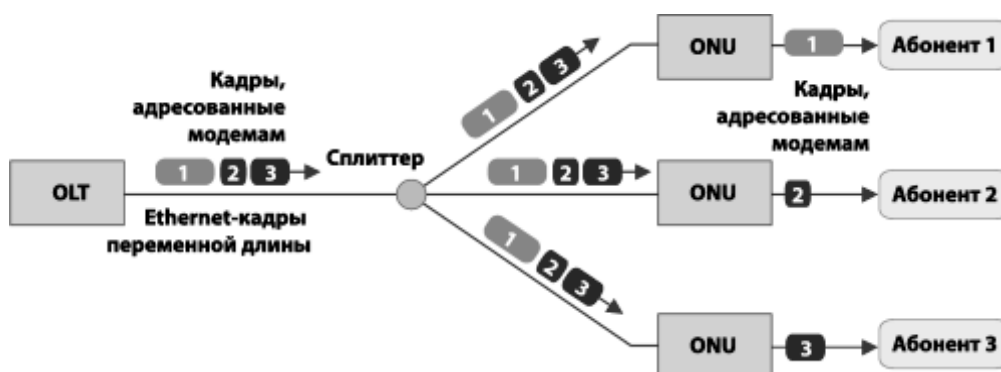


Рис.1. Передача данных в прямом канале

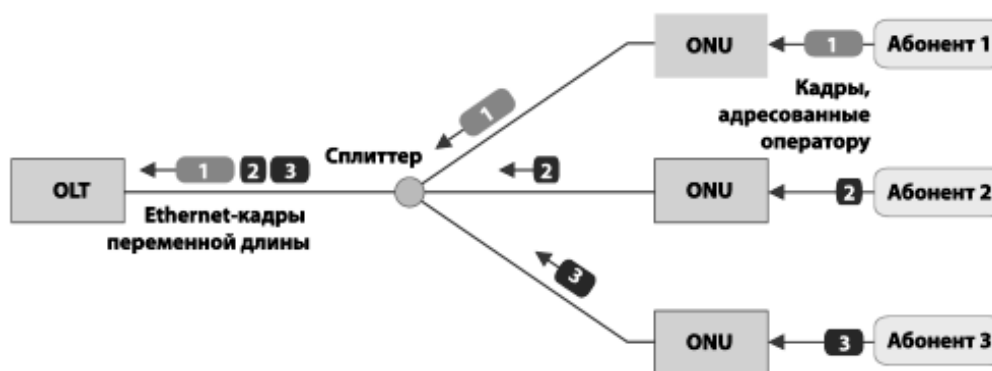


Рис.2. Передача данных в обратном канале

Компания ZyXEL предлагает сегодня оборудование стандарта EPON (IEEE 802.3ah), называемого также GEPON. В настоящий момент это оборудование участвует в нескольких проектах, а также в тестированиях у провайдеров по всей Украине. Отметим, что другие стандарты рассматриваемого типа сетей отличаются скоростными и другими техническими характеристиками (таблица 1).

Таблица 1

Технические характеристики сетей различного типа.

	BPON	EPON	GPON
Стандарт	ITU-T G.983	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984
Пропускная способность	Нисходящий поток — до 622 Мбит/с. Восходящий поток — 155 Мбит/с	Симметричный, до 1,25 Гбит/с	Нисходящий поток — до 2,5 Гбит/с. Восходящий поток — до 1,25 Гбит/с
Длина волны нисходящего потока	1490 и 1550 нм	1550 нм	1490 и 1550 нм
Длина волны восходящего потока	1310 нм		
Передача	ATM	Ethernet	Ethernet, ATM, TDM

Архитектура BPON — это традиционная технология, которая в настоящее время все еще применяется некоторыми сервис-провайдерами в США, однако она быстро вытесняется другими архитектурами. В то время как EPON была разработана с целью снижения стоимости путем использования технологии Gigabit Ethernet, архитектура GPON разрабатывалась, чтобы обеспечить более высокую скорость передачи данных нисходящего потока, снизить накладные расходы и обеспечить возможность передачи трафика ATM и TDM. Несмотря на добавленную поддержку старых протоколов, эта возможность пока редко используется на практике. Вместо этого архитектура GPON используется в качестве транспортной платформы Ethernet (рис.3).

Коммутатор позволяет по одному волокну (одному порту) подключить до 32 или даже 64 абонентов. Общая скорость передачи данных (которая делится между абонентами) составляет 1,25 Гбит/с. Дальнейшее развитие EPON уже в ближайшие годы предлагает также переход на скорости 10/1 Гигабит/с и 10/10 Гигабит/с. С задержкой в два-три года планируется переход на 10-гигабитные скорости и технологии GPON.

Для приема и передачи используются лазеры с разной длиной волны — 1490 нм для передачи и 1310 для приема. При необходимости возможно добавление в канал и аналоговых кабельных телевизионных каналов (100 и более), которые модулируются лазером на 1550 нм. В зависимости от конкретной схемы сети и использованного оборудования, общая протяженность канала может составлять до 20 км.



Рис.3 Мультисервисная сеть на базе технологии GPON

Кабель прокладывается от порта коммутатора в виде дерева. Сплиттеры, устанавливаемые в узлах, чрезвычайно неприхотливы — не требуют электропитания, настройки и управления, термошкафов, недороги и очень компактны. Это позволяет размещать их, например, в уже имеющихся телефонных распределительных шкафах.

Простейшие оконечные устройства представляют собой конвертеры оптика-кабель со встроенным фильтром MAC-адресов. В случае использования телевидения, в модем устанавливается еще один приемник, а на телевизор выводится обычный высокочастотный кабель.

Для защиты информации возможно использование шифрования (AES128) всех передаваемых пакетов. Технология не допускает прямого общения отдельных абонентов, находящихся на одном порту коммутатора — данные от одного абонента могут попасть к другому только через GPON-коммутатор, который ретранслирует потоки данных восходящего потока на длине волны 1310 нм в нисходящий поток на длине 1490 нм.

Дополнительным плюсом с точки зрения безопасности является использование на линии исключительно пассивного оборудования, затрудняющего перехват.

Из положительных сторон PON нужно отметить:

- минимальное использование активного оборудования;
- минимизация кабельной инфраструктуры;
- низкая стоимость обслуживания;
- возможность интеграции с кабельным телевидением;
- хорошая масштабируемость;
- высокая плотность абонентских портов.

В то же время при рассмотрении технологии нужно учесть и ее особенности, особенно в сравнении с линиями "точка-точка": разделяемая между абонентами полоса пропускания, общая среда может не подойти клиенту с точки зрения безопасности, пассивные сплиттеры затрудняют диагностику оптической линии, возможно влияние неисправности оборудования одного абонента на работу остальных, меньшая выгода в случае реализации на этапе строительства.

Оборудование

Линейка продуктов GEAPON у ZyXEL состоит из трех коммутаторов и трех модемов. Младшая модель коммутатора — OLT-1308H — имеет восемь портов GEAPON и восемь соответствующих им Gigabit Ethernet (именно гигабитных, устройства с меньшей скоростью к ним подключить нельзя). К каждому оптическому порту можно подключить до 32-х модемов, в итоге получив 256 абонентов на устройство. У OLT-1308H есть встроенный гигабитный L2+ коммутатор (неблокируемая коммутация с пропускной способностью 24 Гбит/с, скорость коммутации кадров 17,8 млн. пак/с) и четыре совмещенных порта 1000Base-T/SFP. Такой вариант можно использовать для резервирования канала — при одновременном подключении двух разъемов (SC и RJ45) работает оптика, а в случае аварии в оптическом канале происходит автоматическое переключение на медь. Самой производительной моделью является модульный OLT-1308H. Каждый такой линейный модуль имеет порт GEAPON и совмещенный порт 1000Base-T/SFP. В шасси также устанавливается управляющий модуль и блок питания с двойным резервированием. Линейный модули допускают горячую замену, что положительно сказывается на удобстве обслуживания сети и надежности предоставления услуг. Максимально OLT-2300 может поддерживать 512 абонентов. Все оптические модули коммутаторов рассчитаны на дальность работы 20 км.

Все GEAPON-коммутаторы поддерживают протоколы STP/RSTP и механизмы приоритезации трафика и организации виртуальных сетей (включая Port Based и 802.1Q). Настраивать коммутаторы можно через Web-интерфейс (поддерживается SSL, предусмотрена установка до пяти аккаунтов), telnet, SSH, FTP или консольный порт. Номера портов всех сервисов можно изменить. Возможно ограничение доступа по IP-адресам. Web-интерфейс имеет встроенную систему помощи.

Устройство автоматически находит все подключенные абонентские модемы и позволяет назначить им специфические профили. Они включают в себя настройки скорости, фильтрации, VLAN, приоритетов и другие параметры.

Коммутаторы также позволяют следить за физическим состоянием — проверяются температуры, скорости вращения вентиляторов, напряжения. Для больших сетей будет полезной поддержка коммутаторами протокола SNMP и совместимость с EMS системой управления NetAtlas. Кроме того, возможно объединение устройство в кластеры для общего управления.

Первой моделью абонентского GEAPON-модема является ONU-631HA. Он работает в режиме моста, прост в обслуживании и управляется исключительно со стороны провайдера по специальному протоколу. Для пользователя он предлагает стандартный порт Gigabit Ethernet. Предусмотрено две модификации модемов — с индексами -11 и -12. Первая работает на расстояниях до 10 км, а вторая — до 20 км.

Вторая модель более интересна для подключения домашних пользователей — ONU-634HA имеет встроенный централизованно управляемый 4-портовый коммутатор с привязкой VLAN 802.1Q к портам Fast Ethernet. Как и 631-й она полностью настраивается со стороны провайдера, что сокращает затраты на обслуживание. Также сейчас существуют разновидности ONU-634FA — четыре сетевых порта и выход кабельного телевидения, позволяющий напрямую подключить к GEAPON-модему обычный телевизор.

Вариант применения архитектуры GEAPON FTT в сетях NGN приведен на рис. 4.

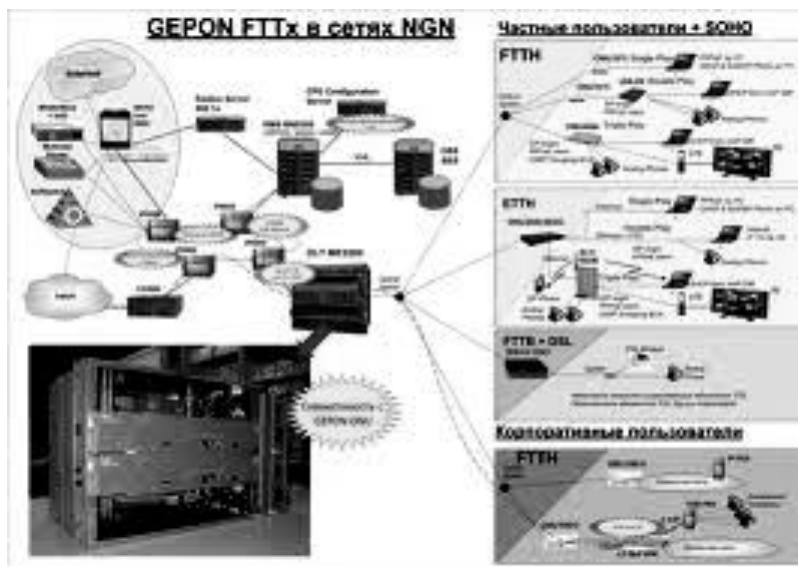


Рис.4. Вариант применения архитектуры GEAPON FTT в сетях NGN

Преимущества и недостатки PON-архитектуры

Есть три основных преимущества для сервис-провайдеров, которые развертывают сети доступа на базе PON-архитектуры вместо оптоволоконных сетей с топологией "точка-точка" (P2P FTTH), хотя эти преимущества не всегда являются важными критериями выбора.

1. Экономия оптоволоконного кабеля.

Наиболее существенным аспектом развертывания сетей FTTH на базе PON является экономия оптоволоконных линий на участке от оптических разветвителей до центральной АТС или точки присутствия. Если у сервис-провайдера имеются резервные оптические пары в кабеле для прокладки дополнительных кабелей между АТС и уличным шкафом, то это может избавить его от необходимости рыть новые траншеи.

Более того, при использовании воздушных линий имеются естественные ограничения протяженности оптоволоконного кабеля между столбами, что стало одной из причин развертывания сетей EPON в Японии. При отсутствии существующей инфраструктуры или развертывании сети в новых районах экономия оптоволоконного кабеля нецелесообразна, поскольку предельные затраты на дополнительный кабель ничтожно малы по сравнению со стоимостью рытья траншей или необходимостью получения права на пользование чужой инфраструктурой.

2. Экономия портов на центральной АТС или в точке присутствия, где выполняется агрегирование.

Экономия портов имеет три аспекта для обсуждения.

Во-первых, в топологии "точка-точка" используется выделенный оптический интерфейс для каждого абонента, что значительно удорожает эту архитектуру по сравнению с той, где порты совместно используются большим числом абонентов. Однако опыт реализации большого числа проектов показал, что использование выделенных Ethernet-портов вполне может конкурировать по цене с использованием портов PON из-за высокой

стоимости последних. Стоимость портов Ethernet весьма невысока из-за огромного числа поставок таких портов для корпоративных сетей и сетей сервис-провайдеров, в то время как порты GPON используются только для этой технологии и выпускаются в существенно меньшем количестве.

Во-вторых, если предположить наличие 100-процентной подписки на сервис FTTH, то для точки присутствия сети на базе PON потребуется вполовину меньше оборудования, чем для сети Ethernet FTTH. В то же время, если принять во внимание реальный процент подписки на сервисы (как описано ниже), то различие стирается. Это происходит из-за того, что для первого же абонента сети на базе PON потребуется порт терминации оптической линии (OLT), поэтому количество портов OLT нельзя уменьшить в связи с низким процентом подписки на сервисы.

В-третьих, обслуживание большого числа оптоволоконных линий представляется очень сложной задачей, если отсутствуют новейшие оптические распределительные стойки, которые позволяют строить точки присутствия с несколькими тысячами оптоволоконных линий, идущих от линейных сооружений. Такие узлы разворачиваются в настоящее время в Европе в сетях FTTH с использованием архитектуры "точка-точка" (P2P FTTH). Такой узел может содержать около 2000 оптических линий сети в каждой стойке.

Проблемы PON-архитектуры

При развертывании архитектуры пассивной оптической сети PON сервис-провайдеры сталкиваются с несколькими проблемами.

1. Общая полоса пропускания. Полоса пропускания в дереве оптоволоконных линий сети PON используется как можно большим числом абонентов, что позволяет получить прибыль за счет снижения затрат на каждого абонента.

2. Хотя технология GPON обеспечивает общую пропускную способность нисходящего потока, равную 2,5 Гбит/с, она не может соответствовать росту сервисов и будущих требований абонентов в долгосрочной перспективе, поскольку потребности в пропускной способности растут экспоненциально. Более того, некоторую часть полосы пропускания необходимо резервировать для потоковых услуг (например, IPTV), что приводит к сокращению общей полосы пропускания.

3. Шифрование. Поскольку PON — это технология с общей средой передачи, то необходимо шифрование всех потоков данных.

В технологии GPON проводится шифрование только нисходящего потока, а использование надежного усовершенствованного стандарта шифрования (Advance Encryption Standard, AES) с 256-разрядными ключами позволяет повысить безопасность личной информации конечных пользователей и предоставляет сервис-провайдерам возможность предотвратить хищение услуг. Однако надежность стандарта AES обуславливает снижение производительности. Для шифрования необходима передача существенного объема служебной информации вместе с каждым пакетом, что может привести к заметному снижению полезной скорости передачи данных в PON (в зависимости от сочетания различных видов трафика). Коммерческие организации, предъявляющие повышенные требования к конфиденциальности (например, финансовые учреждения), обычно категорически отвергают возможность подключения к любой общественной передающей среде, даже при наличии шифрования канала связи, поскольку нет никакой гарантии, что код не будет рано или поздно взломан.

4. Высокая рабочая скорость передачи данных. В связи с использованием в пассивных оптических сетях PON общей передающей среды, каждое оконечное устройство (ONT или OLT) вынуждено работать на совокупной скорости передачи данных. Даже если клиент заплатил только за 25 Мбит/с, каждая конечная точка оптической сети (ONT) в этом дереве PON должна работать на скорости 2,5 Гбит/с (GPON). Работа электронных и оптических устройств со скоростью, в 100 раз превышающей необходимую скорость передачи данных,

повышает цену компонентов, особенно в том случае, если объемы производства не слишком большие.

5. Необходимость большей мощности оптического сигнала. При каждом разветвлении в соотношении 1:2 энергетический потенциал линии связи падает на 3,4 дБ. Следовательно, при разветвлении в соотношении 1:64 энергетический потенциал линии связи уменьшается на 20,4 дБ (эквивалентно отношению мощностей 110). Таким образом, в этой модели все оптические передатчики в архитектуре PON должны обеспечивать в 110 раз большую мощность оптического сигнала по сравнению с архитектурой FTTH «точка-точка» при передаче на то же расстояние.

6. Доступ к абонентским линиям. Отделение абонентских линий (Local Loop Unbundling (LLU)) — это метод, применяемый в настоящее время за границей в обязательном порядке в сетях операторов телефонии для обеспечения доступа альтернативным операторам к абонентским медным линиям связи. Такой подход позволил значительно увеличить проникновение на рынок услуг DSL и снизить цены на сервисы широкополосного доступа для абонентов за счет конкуренции провайдеров.

Сети PON пока не удовлетворяют требованиям LLU, поскольку имеется только одна оптоволоконная линия для подключения группы абонентов, которая, следовательно, не может быть разделена на физическом уровне, а только на логическом уровне. Эта особенность пассивной оптической сети предполагает массовую продажу услуг основного оператора без предоставления прямого абонентского доступа посредством отделения абонентских линий (LLU). Большинство новых сетей FTTH в Европе предлагают некоторые формы отделения абонентских линий, что открывает новые возможности для бизнеса, хотя и не является обязательным для исполнения требованием регулятора.

Теоретически можно повысить гибкость переключения клиентов между оптическими разветвителями PON за счет комбинирования разветвителя с оптическим кроссом в распределительном шкафу участка. Эта функция полезна в том случае, когда трудно предсказать процент подписки абонентов на сервисы, например при слишком большой застройке, и при необходимости выполнять требования отделения абонентских линий. Во втором случае распределительный шкаф участка содержит разветвитель обслуживаемого сервис-провайдера и соответствующие линии передачи, идущие к точке присутствия. Однако такая гибкость отражается на стоимости здания, затратах на поддержку оптического распределительного узла на участке и текущих расходах. При каждом переключении абонента потребуются услуги специалиста для коммутации оптоволоконных линий на каждой точке доступа.

Обычно при развертывании сети FTTH выполняется одновременное подключение оптоволоконных линий связи для всех потенциальных абонентов в данном районе. В случае пассивной оптической сети все эти оптоволоконные линии затем подключаются к разветвителям и стягиваются фидерным оптическим кабелем к центральной АТС или точке присутствия. Абоненты могут подписаться на сервис FTTH только после развертывания всех оптоволоконных линий.

При развертывании услуг для частных абонентов сервис-провайдеры редко достигают 100-процентной подписки. Обычно этот показатель близок к 30 процентам, что означает, что структура PON сети используется не оптимально, а стоимость оборудования OLT для каждого абонента значительно возрастает. Одним из решений этой проблемы является использование удаленных оптических распределительных узлов (как описано в разделе, посвященном отделению абонентских линий). Однако применение этого оборудования предполагает дополнительные затраты, которые обычно не компенсируются улучшением загрузки пассивной оптической сети PON.

7. Обслуживание, поиск и устранение неисправностей. Пассивные оптические разветвители не могут передавать информацию о неисправностях в центр управления сетью. Поэтому с помощью обычного оптического временного рефлектометра (OTDR) очень

сложно обнаружить какую-либо неисправность оптоволоконной линии между разветвителем и точкой терминации оптической сети (ONT) абонента. Это значительно усложняет поиск и устранение неисправностей в сетях PON и повышает затраты на их эксплуатацию.

При повреждении точки терминации оптической сети (ONT) она может передавать в дерево оптоволоконных линий постоянный световой сигнал, что приводит к нарушению связи для всех абонентов этой пассивной оптической сети, причем найти поврежденное устройство очень трудно.

В целом можно отметить, что технология не сложна в настройке и эксплуатации и работает согласно спецификациям. Скорости соответствуют знакомым по медным гигабитным сетям.

Выводы

Технология GEPON может успешно применяться для организации оптических каналов связи до абонента и особенно эффективна в случае наличия ограничений на прокладку кабелей и установку активного оборудования на линии. Эффективность данного решения зависит от многих факторов и однозначно сказать, что это лучший вариант конечно нельзя, все определяется конкретными требованиями заказчика. Тем не менее, произведенные оценки позволяют сделать вывод, что уже сегодня в некоторых случаях себестоимость подключения по оптике домашних абонентов может не превышать 150 долларов.

Что касается описанного оборудования, то компания ZyxEL предлагает сегодня полную линейку GEPON-устройств, позволяющую создавать оптические сети любого масштаба со всеми необходимыми системами управления и технологиями повышения надежности.

Литература

1. Глуценко. Д.В. Пассивные оптические сети как альтернатива сетей доступа в Республике Беларусь/Д.В. Глуценко // Современные средства связи: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф., 7–9 окт. 2008 г., Минск, Респ. Беларусь. – Минск: ВГКС, 2008. – 23 с.
2. Алексеев. Е.Б. Оптические сети доступа / Е.Б. Алексеев. – М.: ИПК при МТУ СИ, 2005. – 140 с.
3. ITU-T Rec. G.983.1, Study Group 15, «Broadband Optical Access Systems based on Passive Optical Networks (PON)», Oct., 1998.
4. Lightware Russian edition, N2,2004 год, "Пассивные оптические сети PON Часть 2. Ethernet на первой миле", И.И. Петренко, Р.Р. Убайдуллаев.
5. IEEE, IEEE Std 802.3, "Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection (CSMA/CD) Access Method and Physical Layer Specifications," March 2002.
6. IEEE 802.3ah OAM Helps Bridge Ethernet Management Gap.
7. Ethernet Passive Optical Network (EPON)) (56 стр).
8. S. Clavenna, "Metro Optical Ethernet," Lightreading (www.lightreading.com), November 2012.
9. RFC-4837. Managed Objects of Ethernet Passive Optical Networks (EPON). L.Khermosh. July 2007.
10. Delivering E1 G.703 and PRI services over FTTH/B GEPON networks.
11. Joint ITU-T/IEEE Workshop on Carrier-Class Ethernet (From 1 to 10 Gb/s in five years - The EPON Story), Geneva, May 2011.