

**А. Горнак**

## **Отказоустойчивое пакетное кольцо. Обзор технологии.**

### **Что такое RPR?**

Кольцевая топология – одна из наиболее популярных в сетях связи, особенно при развертывании транспортных сетей SDH. Однако, при наличии в транспортной сети больших объемов пакетного трафика механизмы защиты и транспорта сети SDH становятся малоэффективными, в силу отсутствия механизмов статистического мультиплексирования на уровне кольца (в NG SDH статистическое мультиплексирование может быть реализовано только на уровне узлов) и необходимости выделять неиспользуемую в штатном режиме полосу для защиты трафика.

Отказоустойчивое пакетное кольцо (Resilient packet ring -- RPR) представляет новую сетевую архитектуру и технологию, определенную спецификацией IEEE 802.17 и разработанную для пакетно-ориентированных сетей регионального масштаба (Metropolitan Area Network -- MAN). Эта технология сочетает простоту и надежность SDH с эффективностью пакетной передачи. Она обеспечивает 50 мс защитную коммутацию и в то же время за счет пакетного транспорта использует выгоды статистического мультиплексирования для лучшей утилизации всей доступной полосы, включая полосу, отводимую под защиту. Более того, RPR предлагает несколько уровней QoS для поддержки различных типов служб, транспортируемых в региональной сети.

RPR способна поддерживать до 255 узлов в кольце общей протяженностью до 2000 км.

### **Как работает RPR?**

Рассмотрим основные особенности функционирования, идеи и принципы, лежащие в основе технологии RPR.

#### **Топология**

Сеть RPR основывается на кольцевой архитектуре, которая состоит из узлов пакетной коммутации соединенных с соседними узлами в кольце одной парой оптического волокна. Сетевая топология основывается на двух, передающих в противоположных направлениях кольцах. Оба кольца (внутреннее и внешнее) используются для транспорта рабочего трафика между узлами. В терминологии RPR эти кольца называют «ринглетами» (от англ. ringle – колечко), которые идентифицируются как ринглет-0 и ринглет-1. Используя оба ринглета, без явного резервирования одного из них для защиты, RPR утилизирует всю доступную полосу в кольце. Ринглеты также используются для переноса сигнальной информации (обновление топологии, защита, управление полосой). Управляющие сообщения передаются в направлении обратном трафику, к которому они относятся. Например, трафик управления внешнего кольца передается по внутреннему кольцу к узлам расположенным вверх по потоку (по отношению к направлению передачи внешнего кольца).

#### **MAC уровень**

IEEE 802.17 определяет свой уровень контроля доступа к среде передачи (MAC), который не зависит от физического уровня и среды передачи. Каждая станция в кольце имеет уникальный 48-ми битный MAC адрес. Поддерживается передача одноадресного, многоадресного и широковещательного трафика.

MAC уровень является центральной компонентой RPR технологии на котором реализуются все ее ключевые свойства и преимущества. Собственно, сам стандарт 802.17 и есть в основе своей описание функционирования MAC уровня.

MAC уровень в RPR можно разделить на два подуровня: подуровень тракта данных и подуровень управления MAC.

Подуровень тракта данных, как следует из его названия, отвечает за прием и передачу пакетов данных.

Основное преимущество пакетного кольца в том, что пакет посланный по кольцу в конечном счете достигнет назначенного узла, вне зависимости, какой путь вокруг кольца был выбран. А раз узлы «знают», что они находятся на кольце, то только три базовые операции по обработке пакетов необходимы: вставка (добавление пакетов в кольцо), копирование (дублирование проходящего пакета для передачи на вышележащий уровень или подуровень управления MAC) и сброс (изъятие пакета из кольца). Так операция копирования применяется для широковещательных пакетов, одноадресных или многоадресных пакетов, если адрес назначения пакета совпадает с адресом станции или групповым адресом. Операция сброс применяется, когда одноадресный пакет достиг узла назначения, или когда пакет сделал полный круг и достиг узла источника или закончилось время жизни пакета, заданное в поле TTL.

Таким образом, RPR устройства реализуют идею транзитного пути. На каждом узле трафик, который не предназначен для этого узла просто проходит насквозь. Транзитный путь становится частью среды передачи и делает из RPR кольца одну непрерывную разделяемую всеми RPR узлами среду. Так как узлы не обрабатывают транзитный трафик, то значительно снижается задержки пакетов и архитектура узла может легче масштабироваться к более высоким скоростям передачи. Если сравнивать кольцевую архитектуру, например, с ячеистой (mesh) топологией, то там каждый узел, помимо продвижения пакета, должен принять решение на какой выходной порт его направлять.

На этом же подуровне реализуются функции управления полосой и формирование трафика через механизм очередей, гарантирования качества предоставляемых услуг.

На подуровне управления MAC реализуются функции изучения топологии кольца и защиты, алгоритм «справедливого» деления полосы в кольце, а также поддержка функций эксплуатации, администрирования и обслуживания (OA&M).

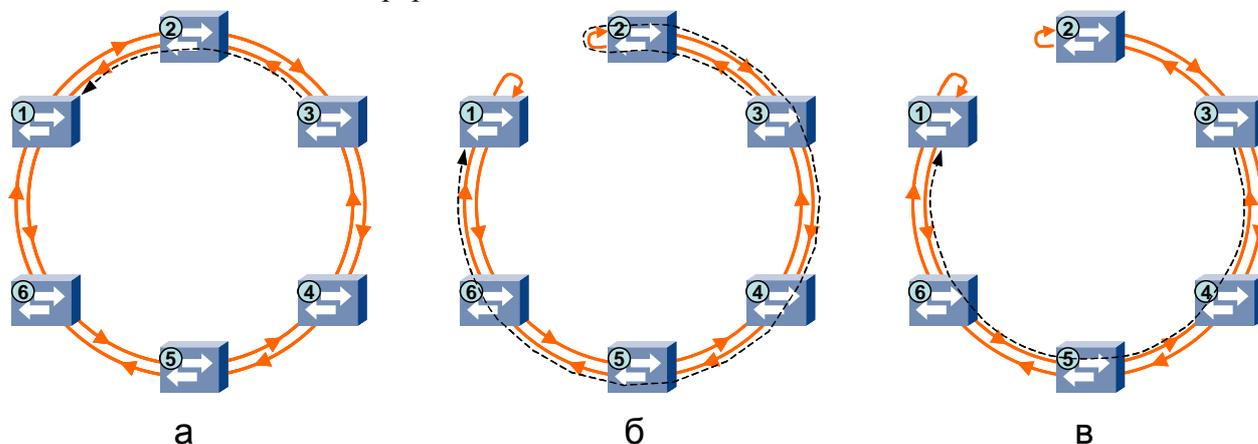
## **Определение топологии и защита**

Под определением топологии RPR кольца понимается изучение узлами кольца наличия других узлов в кольце их статус, взаимное расположение, состояние оптических соединений между смежными узлами. Технология RPR обеспечивает надежное и точное средство изучения топологии кольца, а также механизм быстрого определения изменений топологии. Это позволяет добавлять или удалять узлы в кольце без каких/либо дополнительных ручных настроек. При этом функции определения топологии и защиты разделяют общий механизм управляющих сообщений.

Узлы в кольце периодически передают в обе стороны кольца специальное сообщение – кадр TP (topology & protection). Каждый узел, получающий это сообщение использует его для проверки или обновления хранящейся в узле топологической базы данных кольца. Эта база содержит состав узлов кольца, их взаимное расположение, состояние, а также состояние оптических соединений между ними. Информация в топологической базе данных также используется подуровнем тракта данных MAC, алгоритмом, отвечающим за справедливый доступ к ресурсам кольца, и функциями OA&M.

Протокол защиты RPR обеспечивает надежный механизм защитной коммутации в пределах 50 миллисекунд для всего защищаемого трафика на кольце. Защита реализуется двумя

способами: перенаправление (steering) или заворот (wrapping) трафика. Этот протокол гарантирует, что каждая станция, получившая информацию об изменении статуса оптических связей или узлов кольца сделает решение о защитной коммутации надлежащим образом и в требуемый промежуток времени. При этом перенаправление или заворот будут сделаны в соответствии с защитной иерархией.



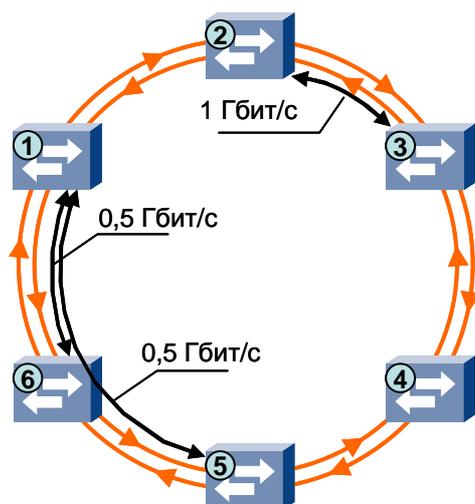
**Рис. 1. Защитное переключение в RPR**

Рисунок 1 представляет пример путей передачи данных до и после события обрыва волокна. До обрыва волокна узел 3 передавал трафик к узлу 1 через узел 2 (Рис. 1а). После обрыва волокна (между узлами 1 и 2), узел 1 завернет трафик внешнего кольца к внутреннему и узел 2 завернет трафик ввнутреннего кольца к внешнему. После заворота трафик из узла 3 к узлу 1 будет проходить не по оптимальному пути (Рис. 1б). Но такое защитное переключение будет сделано очень быстро (в пределах 50 мс), так как решение о нем принимается локально в узлах 1 и 2, которые идентифицируют разрыв соединения. Впоследствии, на основе протокола определения топологии, остальные узлы в кольце обнаруживают изменение в топологии и используют уже новый оптимальный путь (Рис. 1в). Это обнаружение изменений может занять от сотен миллисекунд, до нескольких секунд, после которого удвоенная емкость кольца будет восстановлена. Таким образом, в отличие от SDH колец, которые всегда платят за защиту резервируемой (и неиспользуемой в штатном режиме) полосой, кольцо RPR после аварии уменьшает свою емкость максимум на несколько секунд.

### Пространственное переиспользование

Одно из основных свойств RPR протокола – его возможность пространственного переиспользования полосы. Пространственное переиспользование является концепцией, применяемой в кольцевых топологиях для увеличения общего агрегированного в кольце трафика. Это возможно за счет пропуска двунаправленного трафика по кольцу только на промежутке между узлом источником и узлом назначения. Узел назначения удаляет свои пакеты из кольца, освобождая полосу в другом сегменте кольца для использования другими пакетами.

Это отличается от более ранних кольцевых протоколов, таких как token ring и FDDI, где трафик удалался из кольца узлом источником, занимая без необходимости полосу в части кольца. RPR похожа в этом смысле на кольцо SDH, но в отличие от SDH, она допускает полную утилизацию полосы кольца негарантируемым трафиком.



**Рис. 2. Пример пространственного переиспользования полосы в кольце.**

Рисунок 2 демонстрирует как работает пространственное переиспользование. Предположим, что есть RPR кольцо 1 Гбит/с. В этом примере узел 6 передает 0,5 Гбит/с трафик к узлу 1 и узел 5 передает 0,5 Гбит/с трафик к узлу 1. В традиционном кольце SDH при защите этого трафика, свободная емкость будет отсутствовать, в то время как в RPR кольце узлы 3 и 2 могут использовать полную полосу для негарантированного трафика.

### Алгоритм справедливого доступа

Справедливость наиболее важное свойство в сети операторского класса. Справедливость достигается, когда характеристики потоков трафика двух служб, которые имеют идентичные уровни обслуживания (SLA) независимы от их источника и назначения в сети. Протокол RPR может гарантировать выполнение условий справедливости через всю сеть. Каждый RPR узел выполняет алгоритм, который гарантирует, что все узлы в кольце будут получать свою справедливую долю полосы.

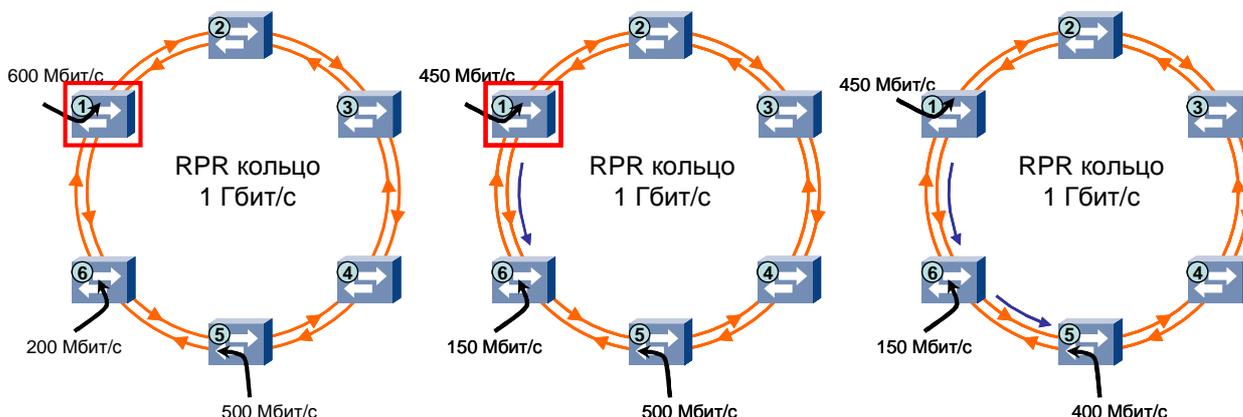
В сети с динамически изменяющимся наполнением трафика (что как раз характерно для пакетных сетей) способ оптимизации утилизации сети без потери трафика включает наличие механизма обратной связи встроенной в сеть. В RPR каждый узел отслеживает загруженность примыкающих к нему соединений и делает эту информацию доступной всем узлам в кольце. Другие узлы на основании этой информации могут увеличить или уменьшить скорость передачи данных в кольцо. Ограничения на скорость передачи реализуется на подуровне продвижения данных MAC.

Алгоритм справедливости рассматривает имеющуюся полосу в кольце, как один глобальный ресурс и оптимизирует его использование на уровне всего кольца.

Применяется алгоритм только к трафику с негарантированной полосой пропускания. Трафик класса А с гарантированной полосой пропускания и трафик класса В в пределах согласованной скорости CIR вычитается из доступной емкости при применении данного алгоритма.

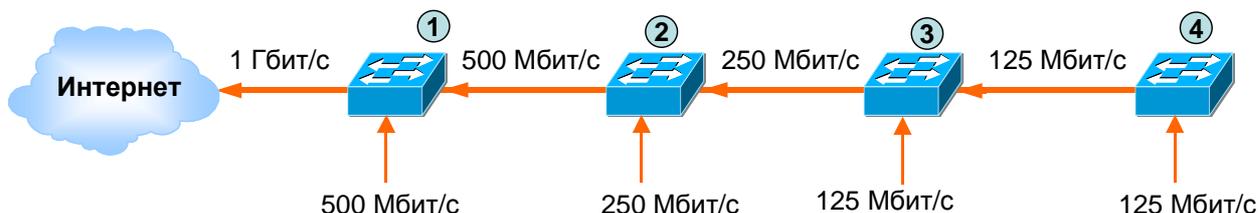
В направлении противоположном направлению передаваемых данных (т.е. через другой ринглет) периодически посылаются специальные кадры, которые обрабатываются узлами и переносят идентификатор узла, испытывающего наибольшую перегрузку из-за этого трафика и определенным образом рассчитанную величину допустимой скорости передачи этих данных. При расчете "справедливой" скорости доступа к кольцу, поддерживается взвешенная справедливость, пропорциональная полосе купленной пользователем. В отсутствии перегрузки узлы могут получить дополнительную доступную полосу, которая выше чем их

справедливая доля на локальном сегменте кольца, до тех пор, пока это не наносит ущерб другим узлам в кольце.



**Рис. 3. Алгоритм справедливого доступа к среде передачи**

Рисунок 3 демонстрирует работу алгоритма справедливого доступа. До применения алгоритма все узлы передают в кольцо данные на их пиковой скорости. В какой-то момент узел 1 испытывает перегрузку и запрашивает узлы вверх по потоку уменьшить их скорость передачи до допустимого уровня. После схождения алгоритма, каждый узел получит свою справедливую долю полосы, в то время как узлы 2 и 3, передающие данные друг другу без создания перегрузки для остальных узлов будут продолжать передачу на их пиковой скорости.



**Рис. 4. Распределение скоростей доступа в цепочке Ethernet коммутаторов**

Другие оптимизированные для данных технологии, такие как Ethernet, не обеспечивают справедливость операторского класса. В цепочке Ethernet коммутаторов мы видим (Рис. 4), что скорость доступа узла 4 в Интернет зависит от полосы потребляемой узлами 1, 2 и 3. Обычно Ethernet коммутаторы поровну распределяют полосу выходного порта между входными портами. В этих условиях узел 1 будет получать половину доступной полосы, в то время как узел 2 получит 25% и узлы 3 и 4 будут каждый получать по 12,5% доступной полосы. С ростом количества коммутаторов в цепочке несправедливость по отношению к узлам, стоящим вверх по потоку становится еще большей. Одно из решений – ограничить скорость входящего трафика на каждом узле в 250 Мбит/с (для случая на Рис 4). Но такое ограничение не позволяет узлу 4 захватить всю полосу, если она не используется узлами 1, 2 и 3.

## Управление полосой и QoS

Качество обслуживания (Quality of Service -- QoS) требуется для того, чтобы предоставлять различные параметры передачи для трафика пользователей, а в конечном итоге позволить оператору эффективно взимать плату за услуги, которые он предлагает.

Имеется несколько параметров, которые более чем другие определяют характеристики доставляемой услуги: доступность услуги, задержка, вариация задержки, уровень потери

пакетов. Приложения передачи данных требуют низкого уровня потери пакетов, в то время, как приложения реального времени, такие как голос, требуют низкой задержки и ее вариации. Доступность услуги зависит от надежности сетевого оборудования, также как и от характеристик живучести сети. Из вышесказанного ясно, RPR способна поддерживать необходимый уровень доступности сети.

АТМ обещала доставку множества услуг из-за ее богатого набора QoS. Однако, службы, предлагаемые оператором должны быть просты. Пользователи должны ясно понимать различие в службах за которые с них требуют плату. Часто слишком богатый набор свойств QoS усложняет и делает малопонятными предлагаемые услуги.

Подход, предложенный в стандарте 802.17 требует от транспортного механизма в сети поддержку всего трех базовых служб:

Служба Класса А – обеспечивается гарантированной полосой с низкой задержкой из конца в конец и ограниченным джиттером. Этот класс имеет приоритет над всеми другими классами.

Служба Класса В – обеспечивается гарантированной полосой с ограниченной задержкой и джиттером и возможностью доступа к дополнительной (не гарантируемой) полосе без гарантий по ограничению задержки и джиттера в этой полосе. Класс В имеет приоритет над классом С.

Служба Класса С – обеспечивает доставку по мере возможностей (best effort) без гарантий скорости данных и ограничений на задержку и джиттер.

Здесь следует также отметить, что наличие эффективного механизма устранения перегрузок в RPR кольце (справедливый доступ), позволяет минимизировать потерю пакетов.

Если взять наиболее обсуждаемые в последнее время услуги по доставке на единой технологической основе служб Голоса, Видео и Данных (Triple Play), то RPR здесь представляется как наиболее предпочтительная технология для агрегации трафика в региональной сети.

Каждая из служб Triple Play имеет свои нюансы. Голосовые службы могут включать голосовой трафик реального времени, т.е. телефонные вызовы, или не являющуюся службой реального времени трансляцию музыки. Видео службы традиционно включают потоковое видео, но могут также включать видеоконференции, которые являются службой реального времени.

Исходя из этого набора служб, ясно, что службы реального времени для Голоса или Видео будут использовать Класс А для того, чтобы обеспечить гарантированную полосу и наименьшую задержку сигнала. Потоковое Видео или Голос будут использовать Класс В. Службы данных будут использовать класс С. Конечно, эти пары полностью зависят от того, что предлагает поставщик услуг. Некоторые поставщики услуг могут предоставлять Класс В для служб данных пользователям, согласным за это платить.

## **Физический уровень**

RPR пакеты могут быть транспортированы поверх физических уровней как SDH, так и Ethernet. Может поддерживаться множество скоростей. 1G транспорт использует Gigabit Ethernet на физическом уровне, 2,5G транспорт использует STM-16, а 10G использует STM-64 или 10 GbE на физическом уровне.

Физический уровень SONET/SDH предлагает превосходный мониторинг ошибок и производительности. Пакеты RPR могут быть инкапсулированы внутри полезной нагрузки, используя HDLC подобную или GFP инкапсуляцию. Протокол первого уровня SONET/SDH предлагает такую информацию, как потеря или деградация сигнала для использования механизмом защиты RPR. Когда используется физический уровень SONET/SDH, RPR может переноситься поверх TDM транспорта SONET/SDH или по темному волокну.

Ethernet обеспечивает экономный физический уровень для RPR сетей.

RPR системы, использующие физический уровень SDH не будут совместимы с системами основанными на Ethernet в том же самом кольце.

## Реализация и применение RPR

Производители оборудования, поддерживающие технологию RPR в своих мультисервисных платформах, реализуют два подхода.

Первый подход можно назвать, как RPR поверх SDH, когда SDH платформы следующего поколения поддерживают эту технологию для передачи данных. Пользователям предоставляются Ethernet интерфейсы и транспорт пакетов данных осуществляется через RPR кольцо, которое конфигурируется в сети SDH выделением группы виртуальных контейнеров. В этом подходе TDM транспорт поддерживается через технологию SDH, а RPR применяется для обеспечения более эффективного (нежели Ethernet поверх SDH) транспорта пакетных данных.

Второй подход -- мультисервисные платформы, которые в чистом виде реализуют пакетный транспорт RPR. Однако производители оборудования расширяют их возможности функциями, которые непосредственно не описаны в стандарте 802.17. Это поддержка передачи TDM трафика поверх RPR и поддержка не только кольцевой топологии, но и более сложных, например, сопряженные кольца. Для такого расширения RPR уже есть термин: отказоустойчивый пакетный транспорт (Relient Packet Transport -- RPT).

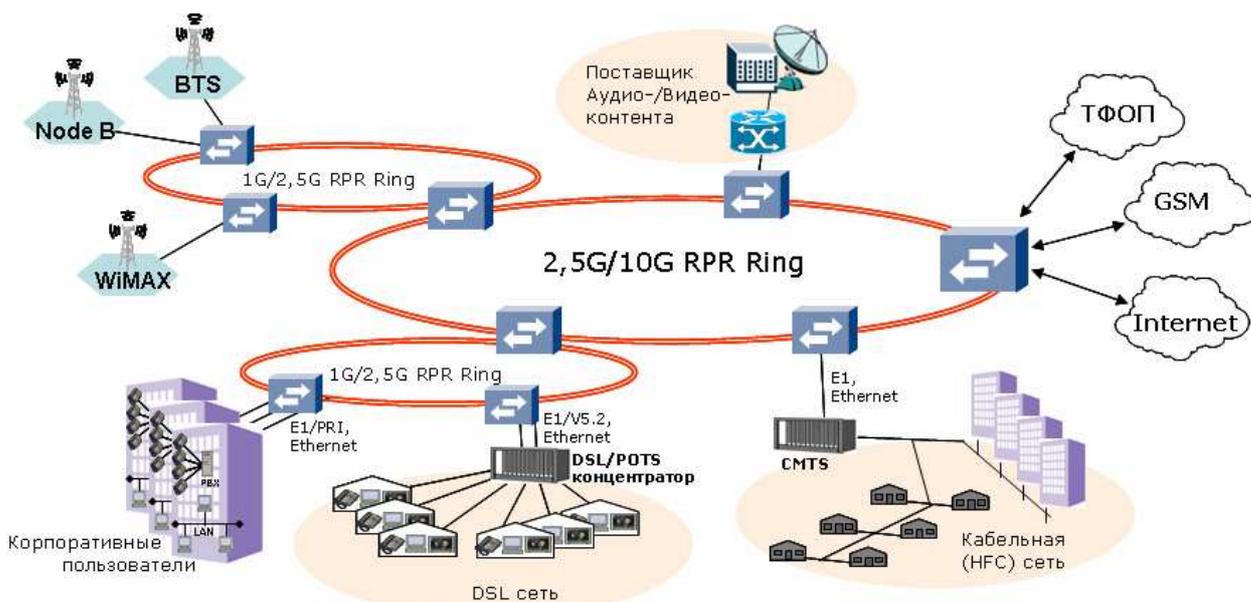


Рис. 5. Пример городской сети с применением технологии RPR

Оба этих подхода делают RPR хорошим решением при эволюции от TDM к преимущественно пакетным сетям. Рисунок 5 демонстрирует типичный пример региональной сети RPR, которая обеспечивает сбор трафика от различных источников и его доставку. Вдобавок RPR основана на кольцевой топологии, поэтому она может быть легко адаптирована к существующим линиям оптического кабеля, где используется SDH.