

# ТС

АКАДЕМИЯ

СОВРЕМЕННЫХ

ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ

ТЕХНОЛОГИЙ

ТС Транспортные сети связи

ТС.2 Совершенствование транспортных сетей SDH  
(количество частей – 1, число страниц -15)

# ТС.2

Отечественные сети на основе технологии SDH (сети SDH) получили широкое распространение в магистральных, зонавых и местных инфокоммуникационных сетях. Они являются основой Единой магистральной мультисервисной сети России.

Сети SDH были предназначены прежде всего для передачи телефонного трафика и особенно успешно мультиплексировали ОЦК (64 кбит/с) и плезиохронные системы более высокого порядка. Однако в последние годы наблюдается и прогнозируется дальнейшее возрастание нетелефонных нагрузок, особенно рост трафика пакетной передачи данных. Это обусловлено ростом числа пользователей сети Интернет, потребностями предпринимательских структур, запросами общества на получение мультимедийной информации.

Перспективными программами развития инфраструктуры России предусматривается модернизация существующих транспортных сетей, в том числе оптических линий связи на основе технологий SDH и DWDM. Это соответствует общей тенденции развития сетей связи, предусмотренной рекомендациями Международного союза электросвязи (МСЭ) и состоящей в унификации всех сетей на основе пакетной передачи данных и во включении их в сети нового поколения (NGN). Данные обладают рядом основных отличительных свойств. Это:

- возможность специальной обработки в цифровом виде, позволяющей сужать спектр частот;
- перенос мультимедийной информации: речи, собственно данных и видео;
- обеспечение пакетами, обладающими в заголовках адресной информацией, направленного продвижения в сети и коммутации;
- возможность пакетов выстраиваться в очередь (в устройствах доступа) и ликвидировать паузы в передаче, повышая использование полосы частот;
- перенесение трафика по наиболее низким для клиента тарифам.

Пока телефонная нагрузка в инфокоммуникационных сетях была преобладающей, сети SDH удовлетворяли операторов и пользователей. С появлением тенденций использования передачи данных в качестве средства для решения проблемы унификации передачи всех видов сообщений (речь, данные, видео) и мультимедийности информации, с возникновением проблемы слияния всех типов сетей связи в одну общую сеть NGN, встал вопрос о том, насколько успешно удастся преодолеть неприспособленность сетей SDH к передаче данных. Этот же вопрос относится и к появившимся позднее оптическим сетям WDM и DWDM на основе спектрального уплотнения технологии SDH.

В связи с этим у многих операторов связи возникают вопросы. В каком направлении

необходимо совершенствовать технологию SDH в существующих сетях, чтобы в дальнейшем продолжать их успешное функционирование? Совершенствовать ли способы "данные поверх SDH", реализованные первоначально с большими потерями? Использовать ли оптические волокна для организации наложенных сетей передачи данных, например, по технологиям IP или ATM? Какие технологии можно использовать в сетях WDM и DWDM?

Для приближения существующих сетей SDH к NGN необходимо прежде всего рассмотреть возможность устранения отдельных отрицательных особенностей сетей SDH: I

- недостаточного использования полосы частот (скорости передачи);
- большого объема пропускной способности (емкости), предназначенной для резервирования (соотношение рабочей емкости к резервной 1:1);
- негибкости градаций (крупная зернистость) деления полосы частот между пользователями;
- отсутствия динамического регулирования полосы частот по запросам пользователей (в процессе передачи) без нарушения передачи трафика;
- отсутствия автоматической оперативной коммутации.

Для выбора направления модернизации и развития существующих сетей SDH необходимо учитывать многие факторы: возможность полноты удовлетворения возникающих запросов клиентов по видам, объему и качеству предоставляемых услуг; технико-экономические показатели (капитальные затраты, эксплуатационные расходы, доходность, сроки окупаемости); развитие техники связи; состояние разработки новых способов и методов передачи.

Рассмотрим вопрос с точки зрения применения некоторых инноваций для устранения недостатков технологии SDH и конвергенции различных технологий. Частично инновации находятся в стадии разработки или лабораторных испытаний, другие частично уже внедряются фирмами в работу (даже до появления утвержденных рекомендаций и стандартов).

Остановимся на следующих новых методах и технологиях:

- виртуальное сцепление (конкатенация) (VC - Virtual Concatenation) - Рек. МСЭ G.707, G.783, Y.1332;
- схема регулирования емкости линии (LCAS - Link Capacity Adjustment Schemes) - Рек. МСЭ G.7042 (Draft);
- процедура общего кадрирования (GFP - Generic Framing Procedure) - Рек. МСЭ G.7041;

- обобщенная мультипротокольная коммутация по меткам (GMPLS - Generic Multiprotocol Label Switching) для оптических сетей и MPLS - для сетей передачи данных;
- коммутация пачкой пакетов ("вспышкой") в оптических транспортных сетях (OTN - Optical Transport Network) - Рек. МСЭ-Т G.872;
- преобразование многокольцевых сетей SDH в ячеистые.

**Виртуальная конкатенация (VC).** В соответствии с Рек. G.707 МСЭ конкатенация - это сцепление в единое целое (смежное или виртуальное) нескольких составляющих в цифровом потоке по технологии SDH.

В частности, G.707 устанавливает смежную конкатенацию административных блоков AU-4, которые могут быть объединены в виде AU-4-Xc, где X - количество сцепленных блоков. AU-4-Xc может передавать нагрузки, требующие большей емкости, чем контейнер-4. Емкость определяется скоростью передачи. Скорость контейнера - 4 равна 149 760 Мбит/с. При X = 4 скорость составляет 599 040 Мбит/с, при X = 16 - 2 396 160 кбит/с. Указанная конкатенация может быть организована в системе не ниже уровня STM-16. Информация о наличии смежной конкатенации AU-4-Xc закладывается в начале пути в указатель административного блока. Обработка сцепленного блока производится на концах пути и на каждом промежуточном интерфейсе (узле).

При виртуальной конкатенации информация о сцеплении не закладывается в указатели структурных блоков, образующих сцепку. На своем пути они обрабатываются как рядовые блоки, и промежуточные интерфейсы не отличают их от других аналогичных блоках. Разница сцепления блоков замечается только в начальных и конечных узлах.

Таблица 1.

Протоколы передачи данных	Расположение нагрузки и использование полосы частот	Конкатенация VC и использование полосы частот
Ethernet (10 Мбит/с)	Виртуальный контейнер-3 – 21%	5-виртуальный контейнер-12 – 98%
Fast Ethernet (100 Мбит/с)	Виртуальный контейнер-4 – 67%	2-виртуальный контейнер-3 – 100%
Gigabit Ethernet (1000 Мбит/с)	STM-16 – 42%	7-виртуальный контейнер-4 – 95% 21-виртуальный контейнер-3 – 98%

Сцепка следует от начала до конца в блоке более высокого порядка, чем

сцепляющиеся блоки. По пути сцепляющиеся блоки сохраняют свое чередование во времени, однако могут получить разные задержки из-за обработки указателей блоков на промежуточных узлах. На конечном узле эти задержки выравниваются.

Виртуальная конкатенация может осуществляться в пределах потока, начало и конец пути которого совпадают со сцепленными блоками.

Для уяснения процесса можно представить, что в мультиплексорах начала и конца пути сцепленных блоков появляются, кроме традиционных (2, 35, 50, 144, 155 Мбит/с и т.д.), специальные трибутарные порты, скорость которых может меняться при виртуальной конкатенации  $N \times 2$ ,  $N \times 50$  и  $TV \times 155$  Мбит/с. При смежной конкатенации градации изменения скорости более грубые.

Виртуальная конкатенация обеспечивает соответствие между скоростями передачи данных и выделенной в сети SDH части ее скорости для обеспечения этой передачи. Эффект от применения виртуальной конкатенации по сравнению со смежной конкатенацией показан в таблице.

Таким образом, виртуальная конкатенация ликвидирует грубость градаций деления полосы частот между пользователями и повышает ее использование.

**Схема регулирования емкости линии (LCAS).** Один из недостатков сетей SDH - невозможность динамического регулирования полосы частот в процессе передачи в соответствии с требованиями клиентов. Виртуальная конкатенация предоставляет клиенту заранее оговоренную постоянную полосу частот. Эта постоянная полоса частот определяется в зависимости от максимальной потребности клиента через понижающий коэффициент  $K_i$  ( $K_i < 1$ ). При средней потребности клиента полоса частот может недоиспользоваться, при максимальной потребности - часть пакетов ставится в очередь, передается с некоторой задержкой или даже по повторному запросу.

В случае увеличения  $K_i$  до 1 клиенты переплачивают за лишнюю полосу частот при снижении нагрузки, однако обеспечивают высокое качество передачи.

Вполне естественному желанию клиентов обеспечить высокое качество передаваемой ими информации при снижении оплаты отвечает схема LCAS. Виртуальная конкатенация может существовать без LCAS. Последняя работает только при наличии виртуальной конкатенации. LCAS обеспечивает клиенту изменение полосы частот по его запросу в момент передачи без нарушения связи или в определенное заранее время суток. Например, с  $T_1$  до  $T_2$  времени суток по рабочим дням офиса клиента предоставляют в центр суточную отчетность и нагрузка увеличивается. LCAS обеспечивает с  $T_1$  до  $T_2$  полосу частот  $n_2 \times E_1$  вместо  $n_1 \times E_1$  в другое время суток ( $n_2 > n_1$ ). Благодаря LCAS расходы снижаются.

При динамическом регулировании полосы частот изменение  $n_i$   $x$   $E_I$  происходит без ее нарушения.

LCAS является двусторонним взаимоувязанным протоколом. Так же как и для VC карты LCAS необходимы только в узлах передачи и приема информации. Промежуточные узлы могут не знать о наличии LCAS. Содержимое сообщений источника информации к приемнику и обратно непрерывно меняется и обеспечивает синхронность изменения величины VC (скорости). В сообщениях передается информация о состоянии отдельных составляющих VC, запросы об изменении состава VC, о защите нагрузки и готовности приемника выполнить запрос, посланный передатчиком.

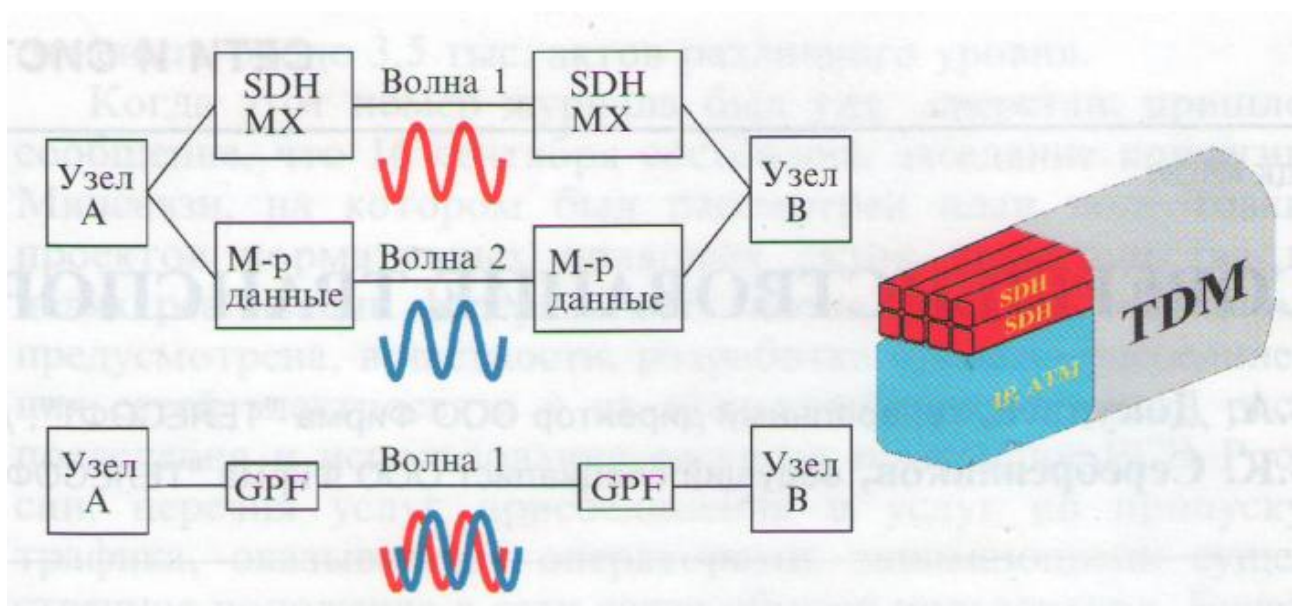


Рисунок 1.

**Процедура общего кадрирования (GFP).** По виду передачи информации сети SDH относятся к сетям с мультиплексированием и разделением по времени (Time Division Multiplexing -TDM). При этом для SDH характерна специальная инкапсуляция, образование виртуальных контейнеров, достаточно хорошо приспособленных для передачи телефонного трафика (именно каналов ОЦК - 64 кбит/с). При передаче «данные поверх SDH» указанные новые методы VC и LCAS позволяют достаточно успешно передавать информацию, организованную по протоколам ATM, IP, Ethernet и др.

Однако в этом случае данные все-таки "нанизываются" на структуру SDH - виртуальные контейнеры. В отличие от этого процедура GFP [1] позволяет в TDM потоке передавать данные в своем формате, наименее разделенном рамками каких-то других виртуальных образований.

При этом имеется возможность в том же потоке TDM часть скорости (полосы частот)

использовать для передачи в формате SDH (рис. 1).

В случае передачи данных по темному волокну или на одной из волн в оптической транспортной сети (OTN) невозможно сохранить формат SDH, соответственно могут возникнуть проблемы с передачей речи.

При передаче с использованием GFP образуется специальный кадр, структура которого специфицирована ANSI в январе 2002 г. Она состоит в основном из двух частей: заголовка ядра для обслуживания в сети оператора и пространства полезной нагрузки с полем информации клиентов и вспомогательными данными для менеджмента клиентских сетей.

Механизм GFP обеспечивает одновременно передачу данных по различным протоколам и формат SDH в одном волокне или на одной волне OTN. Учитывая сохранение в течение еще достаточно длительного времени потребности в передаче телефонного трафика, можно прогнозировать достаточно широкое применение GFP в ближайшем будущем, несмотря на необходимость дополнительного оборудования в сетях SDH.

Таким образом, VC, LCAS и GFP преодолевают недостатки сетей SDH и способствуют решению проблем текущего этапа развития.

**Виртуальные (корпоративные) частные сети (Virtual Private Network - VPN).** В последнее время интенсивно возрастает использование сетей SDH в качестве средства для соединения устройств связи и оргтехники (телематики) в офисах крупных предприятий и корпораций. Офисы соединяются с помощью виртуальных каналов, организуемых в сетях SDH, тем самым образуя VPN. Клиенты, использующие VPN, заинтересованы в безопасности передаваемой информации, высокой надежности арендуемых средств, а также в ряде случаев в передаче информации всех видов (голос, данные по различным протоколам, видео) с разными градациями качества и динамически изменяемой скоростью. Кроме того, все клиенты заинтересованы в экономически оправданной стоимости предоставляемых услуг. В этих условиях применение операторами VC, LCAS и GFP при организации VPN является средством, обеспечивающим успех в конкурентной борьбе (рис. 2).

**Мультиплексор NH10MOSерии ДомикС  
PDH Multiplexer (4E1+n10/100Ethernet)**



[www.telesoft.com.ru](http://www.telesoft.com.ru)

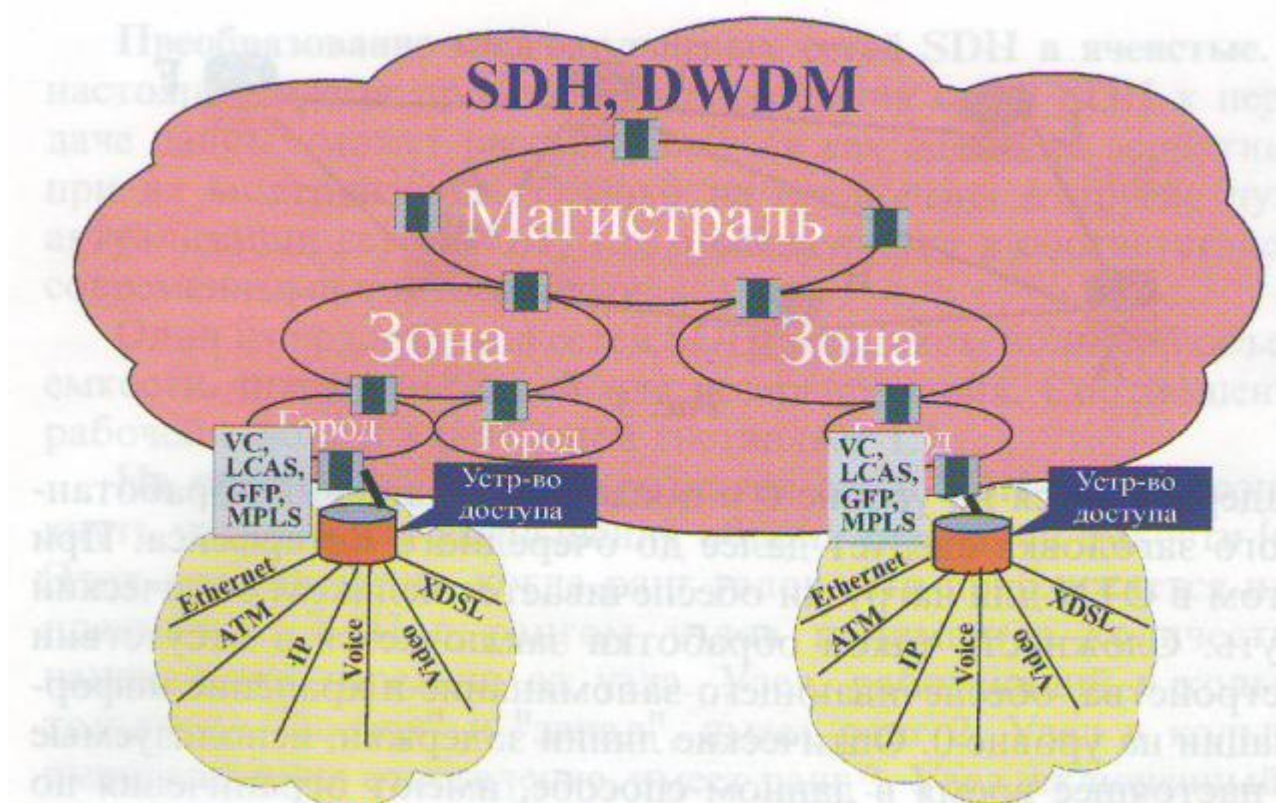


Рисунок 2.

Для обслуживания частных сетей предназначены также MiniSDH. В них применяются портативные мультиплексоры, которые устанавливаются в офисах и выделяют скорости 155, 50 или  $N \times 2$  Мбит/с.

При передаче данных по IP начал применяться мультипротокол коммутации по меткам (Multiprotocol Label Switching - MPLS) для более направленного и ускоренного продвижения пакетов в процессе их коммутации в сети. При этом в сети образуются пути, коммутируемые по меткам (Label Switching Path - LSP). Метки в виде отдельных бит в заголовке пакетов закладываются обычно на краю сетей и действуют в пределах одного пролета, меняясь в узлах коммутации. Преимущество меток заключается в ускорении продвижения пакетов из-за установления в сети определенных меченых путей LSP и сокращении времени на распознавание меток в специальной таблице (например, несколько сотен позиций) по сравнению с распознаванием адресов в таблице адресов (например, несколько тысяч позиций в крупных сетях). Метки весьма эффективны также при организации VPN в качестве средства, обеспечивающего защиту VPN.

В OTN применяется обобщенный MPLS (Generalised MPLS - GMPLS) [2]. Метки передаются из электронной в оптическую сеть и обратно. Меткой в OTN является "цвет" волны. В узлах коммутации OTN назначается "цвет" волны, который действует на пролете до



следующего узла коммутации. На следующем пролете "цвет" может сохраниться или будет назначен новый.

Дальнейшее развитие MPLS - протоколы резервирования ресурсов MPLS - RSVP (Resource Reservation Protocol) и обработки трафика MPLS - TE (Traffic Engineering). Протокол RSVP основан на запросах от источника до адресата по оценке состояния пролетов пути и на получении обратных ответов. В результате резервирования образуется виртуальный канал. Таким образом, обеспечивается передача данных определенного вида с конкретной скоростью и качеством. Фактически эта технология может передавать речь по Интернету с заданным качеством.

Протокол TE способен обеспечить прохождение данных разных направлений с наименьшей или заранее заданной нагрузкой пролетов и маршрутизаторов, например, не более 0,8 от максимальной нагрузки на всех пролетах и маршрутизаторах сети. Технология TE создает дополнительное резервирование для передачи срочной информации в реальном времени.

Частные сети разнообразны по технологиям, видам и носителям передачи (например, возможно оптоволокно -PON, радиодоступ DECT, Radio Ethernet, медные пары -ISDN, xDSL и т.д.). Вряд ли следует разнообразить виды портов в мультиплексорах транспортных сетей. Поэтому включение частных сетей в транспортные необходимо предусматривать через устройства доступа, необходимые для интегрирования всех видов передачи, образования единых мультисервисных платформ. Кроме того, они должны выполнять определенные функции, повышающие использование ширины полосы в транспортных сетях (сжатие полосы частот, установление очередей пакетов и т.д.), и обеспечивать взаимодействие с транспортными сетями, устанавливая интерфейсы разного уровня в зависимости от конкретных условий.

Следует отметить, что вопросы повышения эффективности передачи информации решаются как в транспортных сетях операторов, так и в VPN клиентов, и теми же методами (MPLS, GMPLS, MPLS-TE, MPLS-RSVP) или VC, LCAS. В настоящее время отсутствуют стандарты, регулирующие применение этих новых протоколов.

В качестве примера многоцелевой сервисной платформы, выполняющей функции коммутации пакетов и каналов и устройства доступа, можно привести оборудование 3300 ICP компании Mitel Networks Ltd, которая обеспечивает:

- "голос через протокол IP " (VoIP);
- гибкое управление вызовами, периферийными устройствами и приложениями через web-браузеры;

- возможность подключения беспроводного шлюза;
- возможность подключения различных оконечных устройств, аналоговых и IP-телефонов, устройств видео-конференцсвязи, беспроводных телефонов;
- различные интерфейсы под имеющуюся сетевую конфигурацию и возникающие потребности;
- управление пожарной и охранной сигнализациями.

На основе другого оборудования YUMIX 4000 фирмы "LIGHTMAZE AG" достигается универсальная интеграция услуг от VPN и Metro до DWDM. Оборудование YUMIX 4000:

- поддерживает разные топологии сетей - точка-точка, линия, звезда, кольцо, ячейки (mesh);
- укомплектовано электрическими (Э) и оптическими (О) портами с широким набором скоростей;
- обеспечивает прозрачную передачу данных самых разных протоколов, в том числе критичных ко времени и Ethernet без заголовков и лицензий;
- производит регенерацию 2R и 3R;
- осуществляет динамическую коммутацию со временем переключения менее 50 мс, защиту в любом разделении, в том числе перекрестную;
- выполняет функции навигатора сети, управления сетью и элементами сети;
- имеет высокую модульность и интегрированное программное обеспечение.

**Оптические транспортные сети (OTN).** Определенная разница существует между оптическими и электронными транспортными сетями. В электронных сетях вся обработка информации по концам мультиплексных секций производится на электронном уровне, а передача по оптическим волокнам - с помощью световой волны. Переносчик информации таким образом меняется от секции к секции.

В OTN имеется возможность обработки информации на оптическом уровне и таким образом от источника до адресата информация может переноситься через несколько мультиплексирующих секций одним переносчиком. Свет источника доходит до адресата и не меняется на каждом мультиплексоре.

Соединение свойств цифровых пакетов и оптических транспортных сетей делает особенно привлекательным передачу пакетов по оптическим сетям. Появилось такое понятие как полностью оптическая сеть Интернет.

Передача данных "поверх SDH" в виде пакетов делает необходимым обработку пакетов практически на каждом промежуточном узле разветвления сети. Передаваемый пакет на узле должен быть выделен преобразователем О-Э (с оптического на электрический

уровень), направлен в маршрутизатор, где адресная часть пакета подвергается обработке, а информационная - задерживается в памяти.

Далее обработанный маршрутизатором пакет должен быть передан в порт мультиплексора соответствующего направления, где он преобразуется на оптический уровень (Э-О).

В OTN обработка пакетов может разделяться на две части. Заголовок пакета в специальных мультиплексорах (рис. 3) обрабатывается на уровне Э, а информационная часть пакета задерживается на уровне 0 и после присоединения обработанного заголовка следует далее до очередного интерфейса. При этом в OTN для нагрузки обеспечивается целиком оптический путь. Сложность такой обработки заключается в отсутствии устройства, обеспечивающего запоминание и хранение информации на уровне 0. Оптические линии задержки, используемые в настоящее время в данном способе, имеют ограничения по длительности.

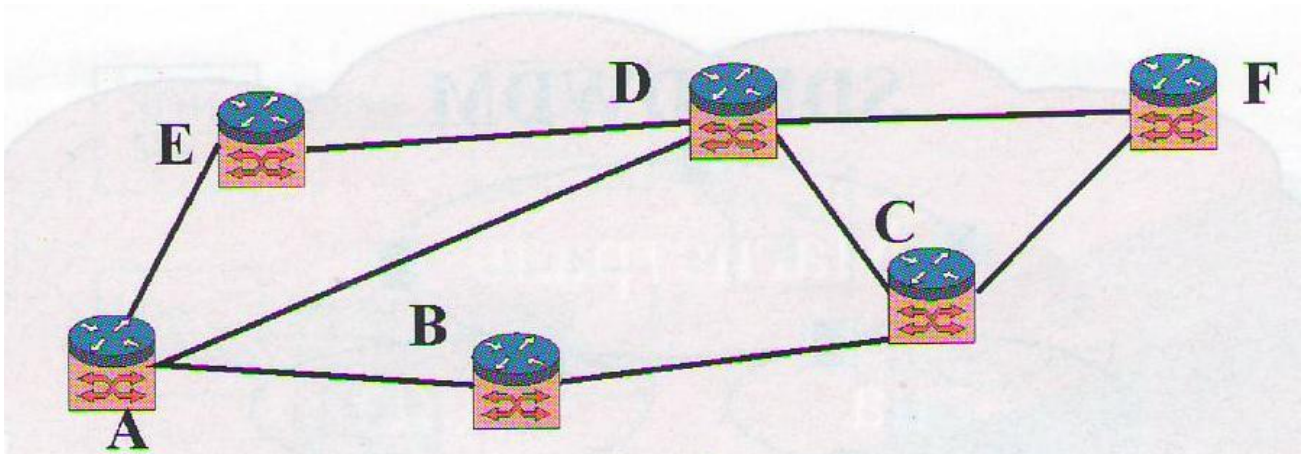


Рисунок 3.

Способ коммутации "вспышкой" или пачкой пакетов (Optical Burst Switching - OBS) решает проблему ограничений в задержке на оптическом уровне другим способом [3].

Пачка пакетов - это пакеты с одинаковым адресом и одним уровнем качества. Идея OBS заключается в том, что впереди пачки пакетов на другой волне передается управляющий пакет со временем опережения

$$t_0 = \sum_{i=1}^N t_i,$$

где  $t_i$  - время обработки пакета на узле  $i$ . Пачка пакетов должна пройти через  $N$  узлов, пронумерованных от 1 до  $N$ .

Управляющий пакет задерживается в каждом узле, а пачка пакетов проходит промежуточные узлы без задержки по оптическому пути. По мере прохождения промежуточных узлов время опережения сокращается и в узле  $k$  оно становится равным:

$$t_{ok} = t_o - \sum_{i=1}^k t_i.$$

В пункт назначения управляющий пакет и пачка пакетов могут приходить одновременно.

Управляющий пакет при обработке на промежуточных узлах подстраивает коммутацию оптической волны так, что она осуществляется к моменту прихода в узел пачки пакетов, а после прохода пачки пакетов коммутационная система освобождается для новой коммутации. Таким образом, по пролетам между узлами образуется полностью оптический путь для пачки пакетов. Каждый пролет на соответствующей волне занимает только на время прохождения пачки пакетов. Далее волна на пролете освобождается для передачи новой информации. Этим достигается очень высокое использование полосы частот.

Для коммутации пачки пакетов в сети должна быть выделена специальная волна, которая может быть названа "сигнальной". Таким образом, управление коммутацией пачки пакетов осуществляется вне полосы частот, по которой передается сама пачка. Очень длинные пачки пакетов сохраняют состояние коммутации на более длительный период и приближают OBS к коммутации каналов.

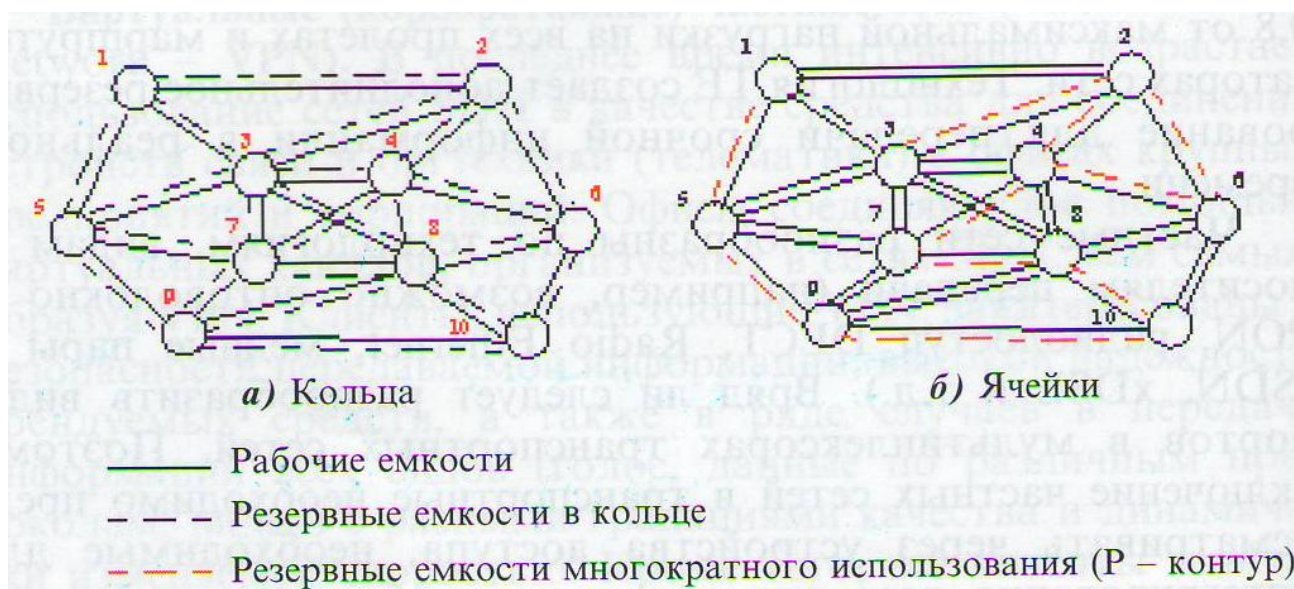


Рисунок 4.

**Преобразование многокольцевых сетей SDH в ячеистые.** В настоящее время процесс приспособления сетей SDH к передаче данных может рассматриваться как наиболее

вероятный при их модернизации. Однако не исключены и другие пути актуализации сетей SDH, т.е. приведение их в соответствие с современными требованиями.

Один из недостатков сетей SDH - слишком большой объем емкости, предназначенной для резервирования. Соотношение рабочей емкости к резервной составляет 1:1.

На определенном этапе развития сетей SDH могут возникнуть условия для уменьшения объема резервной емкости [4]. Этот этап наступит, когда ранг узлов сети приближается или превышает 3. Под рангом узлов понимается количество направлений передачи от узла. Узел, работающий в кольце только на "восток" и "запад", имеет ранг 2. Узел в кольце, имеющий одно ответвление, имеет ранг 3. Узел, включенный в два кольца (общий узел двух колец), имеет ранг 4 и т.д. С увеличением количества колец в сети повышается их сцепляемость, увеличивается ранг колец, создаются условия для резервирования пролетов сети не только по кольцу, а другими путями через узлы ранга 3 и выше. Вследствие этого одна и та же резервная емкость может быть использована при одновременных повреждениях на нескольких пролетах сети. Сами пролеты в этом случае не имеют в своем составе резервных путей, и их рабочая емкость удваивается.

Проиллюстрируем это положение на конкретном примере сети (рис. 4). На рис. 4,а изображена обычная многокольцевая сеть SDH с соотношением рабочей и резервной емкостей 1:1. На рис. 4,б изображена сеть, защищенная так называемым Р-контуром (Protect Chain). Соотношение рабочей и резервной емкостей при этом составляет 3,2:1. Пропускная способность всей сети увеличивается при этом более, чем в 1,5 раза.

Принцип действия Р-контура заключается в следующем: при повреждении одного из пролетов, входящего в Р-контур, защита организуется обычным образом за счет обратной петли по резервной емкости. При повреждении же одного из защищаемых пролетов с удвоенной рабочей емкостью защита организуется за счет резервных емкостей двух частей Р-контура, на которые он разбивается в узлах, ограничивающих поврежденный пролет. Например при повреждении пролета 8-9 защита одной рабочей емкости этого пролета образуется из резервных емкостей пролетов Р-контура 9-10-8. Защита второй рабочей емкости осуществляется соответственно по пролетам 8-7-4-6-2-3-1-5-9.

Для указанного преобразования сетей SDH необходимо обеспечить на узлах ранга 3 и выше коммутацию потоков на различные направления, т.е. оборудовать их кросс-конектами на уровне виртуальных контейнеров VC-4. При этом пролеты колец между узлами с кросс-конектом превращаются в так называемые ячейки, весь процесс называется преобразованием колец в ячейки, а сеть - ячеистой. Это преобразование операторы сетей SDH могут производить по этапам, преобразуя сети по частям, что приводит к постепенному увеличению

пропускной способности и растягивает процесс капиталовложений.

Ячеистые сети могут изменять свою конфигурацию, пропускную способность на отдельных направлениях и, таким образом, реагировать на динамику трафика.

Кроме того, конфигурация ячеистых сетей лучше приспособлена для передачи информации по сравнению с кольцевой, так как больше соответствует структуре сетей передачи данных. Будущие оптические сети в конечном итоге должны стать ячеистыми с коммутацией по длине волны.

Для операторов существующих сетей SDH на данном этапе весьма важно, в каком направлении стоит актуализировать и возникающих запросов клиентуры с целью увеличения объема предоставляемых услуг с учетом конкуренции.

Отметим в связи с этим автоматизированные системы "Сеть-Т" и "Сеть-МС", разработанные фирмой "Телесофт" [5].

Система "Сеть-Т" предназначена для моделирования транспортных сетей SDH, WDM, DWDM. Она позволяет в течение нескольких часов провести многокритериальный расчет большого количества сценариев возможного развития сети и выбрать наиболее приемлемый вариант. При расчетах учитываются тенденции запросов, возникающих у клиентов, и эффективность необходимых капитальных затрат.

Система "Сеть-МС" предназначена для моделирования межстанционных связей в условиях инфокоммуникационных сетей как для решения возникающих при эксплуатации задач, так и для расчета и выбора вариантов развития сетей и подготовки исходных данных для системы "Сеть-Т".

Обе системы прошли испытание временем, успешно применяются несколькими десятками организаций связи и актуализированы в соответствии с последними руководящими документами и рекомендациями МСЭ.

**Заключение.** Рассмотрены несколько способов увеличения эффективности существующих сетей SDH, соответствующих концепциям МСЭ и учитывающих наиболее полное удовлетворение запросов клиентов по видам, объему и качеству предоставляемых услуг. Приведенные сценарии развития сетей могут быть использованы при анализе сетей WDM и DWDM на основе частотного уплотнения технологии SDH.

Несмотря на то, что некоторые из рассмотренных способов находятся в стадии разработки, можно предвидеть массовое внедрение этих и других новых технологий в действующие сети SDH, WDM и DWDM в самом ближайшем будущем. Модернизация действующих транспортных сетей должна обеспечить постепенный их переход к новому качеству и превращение их в составную часть сетей нового поколения.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. **Hernandez-Valencia E., Scholten M., Zhu Z.** The Generic Framing Procedure (GFP): An Overview // IEEE Communications Magazine. - 2002. - № 5.
2. **Yamanaka N., Takigaua Y., Koga M., Okamoto S., Shiamoto K., Oki E., Imajuki W.** GMPLS-based Photone Multilayer Router (Hikari Router) Architecture. An overview of Traffic Engineering and Signaling Technology // IEEE Communications Magazine. - 2002. - № 3.
3. **Baldine I., Pouskas G.N., Perros H.G.** JumpStart: A Just-in-Time Signaling Architecture for WDM Burst-Switched Networks // IEEE Communications Magazine. - 2002. - № 2.
4. **Graver W., Doucette J., Clouqueur M., Leung D., Stamatelakis D.** New Options and Insights for Survivable Transport Networks // IEEE Communications Magazine. - 2002. - №1.
5. **Докучаев В.А., Курносова Н.И., Гусева Л.Н., Пшеничников А.П.** Программный комплекс для принятия решений по развитию сетей связи // Вестник связи International. - 2001. - № 4. - С. 44-49.
6. **Докучаев В.А.** Формально-прагматический подход к решению задач синтеза и анализа сетей электросвязи Доклады XLIX научной сессии, посвященной Дню радио. - М.: РНТОРЭС им. А.С. Попова, 1994.