

Технология синхронной цифровой иерархии SONET/SDH

Технология синхронной цифровой иерархии первоначально была разработана компанией Bellcore под названием «Синхронные оптические сети» – Synchronous Optical NETs, SONET. Первый вариант стандарта появился в 1984 году. Затем эта технология была стандартизована комитетом T1 ANSI. Международная стандартизация технологии проходила под эгидой Европейского института телекоммуникационных стандартов (ETSI) и CCITT совместно с ANSI и ведущими телекоммуникационными компаниями Америки, Европы и Японии. Основной целью разработчиков международного стандарта было создание такой технологии, которая позволяла бы передавать трафик всех существующих цифровых каналов (как американских T1 – T3, так и европейских E1 – E3) в рамках высокоскоростной магистральной сети на волоконно-оптических кабелях и обеспечила бы иерархию скоростей, продолжающую иерархию технологии PDH, до скорости в несколько гигабит в секунду.

В результате длительной работы удалось разработать международный стандарт Synchronous Digital Hierarchy, SDH

В рекомендации G.707 МККТТ приводятся его следующие преимущества:

- упрощённая техника объединения / разделения цифровых потоков;
- прямой доступ к компонентам без необходимости расшивки всего потока;
- расширение возможностей эксплуатации в сети и технического обслуживания
- возможна передача как сигналов SDH систем, так и PDH систем.

Позволяет полностью реализовать возможности волоконно-оптических и радиорелейных линий, создавать гибкие, надежные, удобные для эксплуатации, контроля и управления сети, гарантируя высокое качество связи. Системы СЦИ обеспечивают скорости передачи от 155 Мбит/с и выше и могут транспортировать как сигналы существующих ЦСП, так и новых перспективных служб, в том числе широкополосных. Аппаратура СЦИ является программно управляемой и интегрирует в себе средства преобразования, передачи, оперативного переключения, контроля, управления.

СЦИ это новые мощные системы передачи, но и не только. Это и принципиальные изменения в сетевой архитектуре, организации управления. Внедрение СЦИ будет иметь далеко идущие последствия и для сетевых операторов, и для пользователей, и для производителей оборудования.

В СЦИ использованы последние достижения в электронике, системотехнике, вычислительной технике и т.п. Ее применение позволяет существенно сократить объем и стоимость аппаратуры, эксплуатационные расходы, сократить сроки монтажа и настройки

оборудования. В то же время значительно повышаются надежность и живучесть сетей, их гибкость, качество связи.

Иерархия скоростей при обмене данными между аппаратурой SONET/SDH, которую поддерживает технология SONET/SDH, представлена в табл. 1

• Скорости технологии SONET/SDH

Таблица 1

| SDH | SONET | Скорость |
|--------|---------------|----------------|
| — | STS-1, OC-1 | 51,840 Мбит/с |
| STM-1 | STS-3, OC-3 | 155,520 Мбит/с |
| STM-3 | STS-9, OC-9 | 466,560 Мбит/с |
| STM-4 | STS-12, OC-12 | 622,080 Мбит/с |
| STM-6 | STS-18, OC-18 | 933,120 Мбит/с |
| STM-8 | STS-24, OC-24 | 1,244 Пбит/с |
| STM-12 | STS-36, OC-36 | 1,866 Пбит/с |
| STM-16 | STS-48, OC-48 | 2,488 Пбит/с |

В сети СЦИ используется принцип контейнерных перевозок. Подлежащие транспортированию сигналы предварительно размещаются в стандартных контейнерах C (Container). Все операции производятся с контейнерами независимо от их содержимого.

Принципы размещения сигналов в контейнерах и схема преобразования последних для транспортирования в синхронных транспортных модулях описаны ниже.

Важной особенностью сети СЦИ является ее деление на *три функциональных слоя*, которые подразделяются на *подслои* (Табл. 3). Каждый слой обслуживает вышележащий слой и имеет определенные точки доступа. Слои имеют собственные средства контроля и управления, что упрощает операции по ликвидации последствий отказов и снижает их влияние на вышележащие слои. Независимость слоев позволяет внедрять, модернизировать или заменять их, не затрагивая другие слои.

Таблица 2

| | | |
|----------------|------------------|-----------------|
| Слои | Подслои | |
| Каналы | | |
| Тракты | Низшего порядка | |
| | Высшего порядка | |
| | Секции | мультиплексные |
| Среда передачи | | регенерационные |
| | Физическая среда | |

Самый верхний слой образует сеть *каналов*, обслуживающих конечных пользователей. Группы каналов объединяются в групповые *тракты* различных порядков (средний слой). Групповые тракты организуются в линейные тракты, относящиеся к нижнему слою *среды передачи*.

Структуры кадров

Кадры данных технологий SONET и SDH, называемые также циклами, по форматам совпадают, естественно начиная с общего уровня STS-3/STM-1. Эти кадры обладают весьма большой избыточностью, так как передают большое количество служебной информации, которая нужна для:

- обеспечения гибкой схемы мультиплексирования потоков данных разных скоростей, позволяющих вставлять (add) и извлекать (drop) пользовательскую информацию любого уровня скорости, не демультиплексируя весь поток;
- обеспечения отказоустойчивости сети;
- поддержки операций контроля и управления на уровне протокола сети;
- синхронизации кадров в случае небольшого отклонения частот двух сопрягаемых сетей.

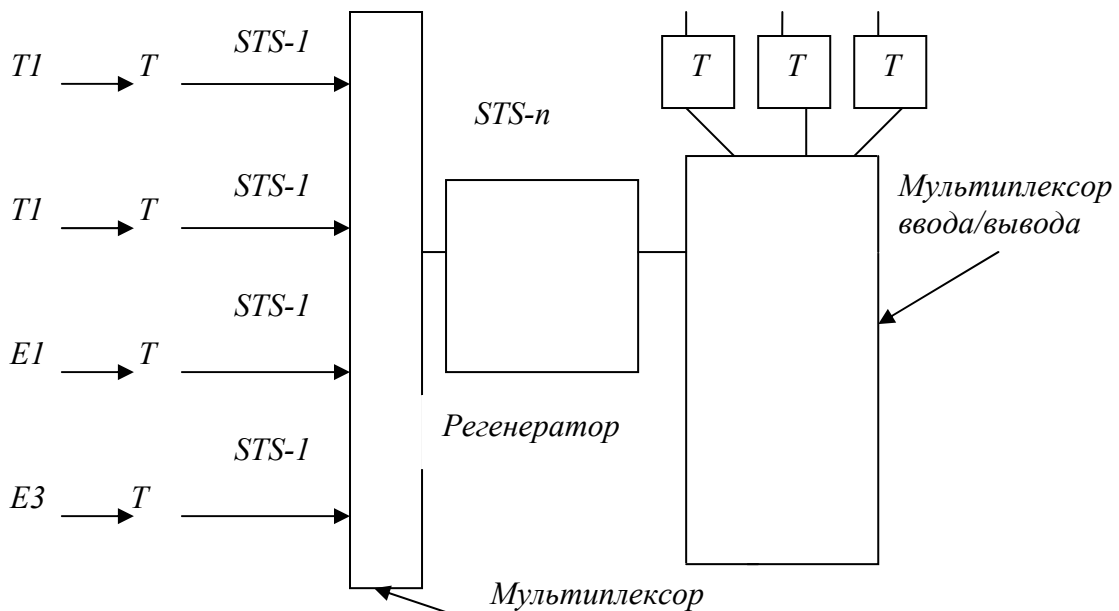
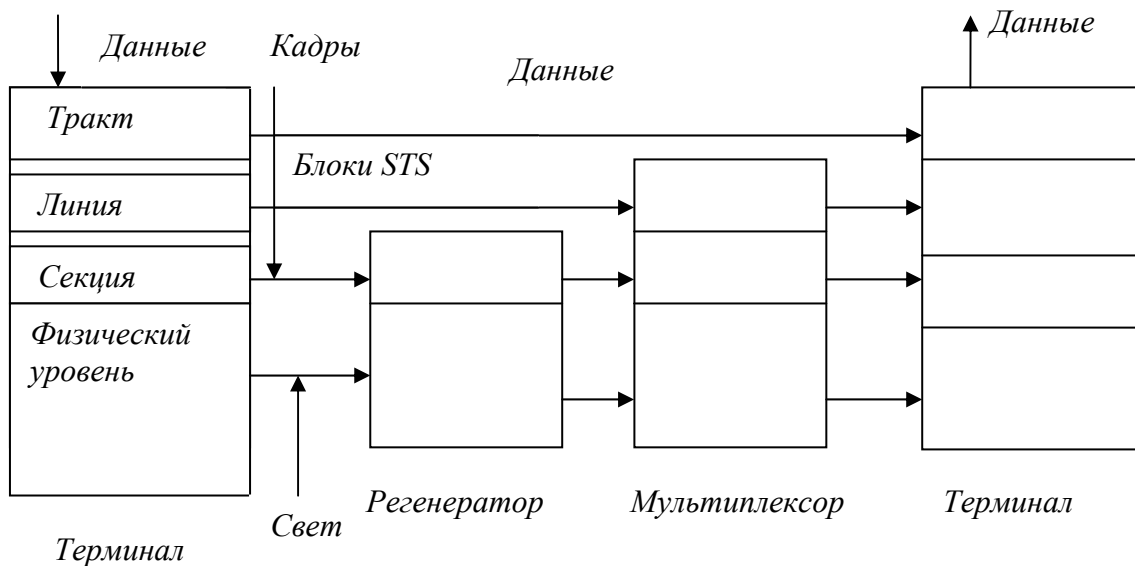


Рис. 1 Стек протоколов и основные структурные элементы сети SONET/SDH

- *Терминальные устройства (Terminal, T)*, называемые также сервисными адаптерами (*Service Adapter, SA*), принимают пользовательские данные от низкоскоростных каналов технологии PDH (типа T1/E1 или T3/E3) и преобразуют их в кадры STS-n. (Далее аббревиатура STS-n используется как общее обозначение для кадров SONET/SDH.)
- *Мультиплексоры (Multiplexers)* принимают данные от терминальных устройств и мультиплексируют потоки кадров разных скоростей STS-n в кадры более высокой иерархии STS-m.
- *Мультиплексоры «ввода-вывода» (Add-Drop Multiplexers)* могут принимать и передавать транзитом поток определенной скорости STS-n, вставляя или удаляя «на ходу», без полного

демультиплексирования, пользовательские данные, принимаемые с низкоскоростных входов.

- *Цифровые кросс-коннекторы (Digital Cross-Connect, DCC)*, называемые также аппаратурой оперативного переключения (АОП), предназначены для мультиплексирования и постоянной коммутации высокоскоростных потоков STS-n различного уровня между собой (на рис. 6.7 не показаны). Кросс-коннектор представляет собой разновидность мультиплексора, основное назначение которого – коммутация высокоскоростных потоков данных, возможно, разной скорости. Кросс-коннекторы образуют магистраль сети SONET/SDH.
- *Регенераторы сигналов*, используемые для восстановления мощности и формы сигналов, прошедших значительное расстояние по кабелю. На практике иногда сложно провести четкую грань между описанными устройствами, так как многие производители выпускают многофункциональные устройства, которые включают терминальные модули, модули «ввода-вывода», а также модули кросс-коннекторов.

Стек протоколов состоит из протоколов 4-х уровней.

- *Физический уровень*, названный в стандарте *фотонным (photonic)*, имеет дело с кодированием бит информации с помощью модуляции света. Для кодирования сигнала применяется метод NRZ (благодаря внешней тактовой частоте его плохие самосинхронизирующие свойства недостатком не являются).
- *Уровень секции (section)* поддерживает физическую целостность сети. Секцией в технологии называется каждый непрерывный отрезок волоконно-оптического кабеля, который соединяет пару устройств SONET/SDH между собой, например мультиплексор и регенератор. Протокол секции имеет дело с кадрами и на основе служебной информации кадра может проводить тестирование секции и поддерживать операции административного контроля. В заголовке протокола секции имеются байты, образующие звуковой канал 64 Кбит/с, а также канал передачи данных управления сетью со скоростью 192 Кбит/с. Заголовок секции всегда начинается с двух байт 11110110 00101000, которые являются флагами начала кадра. Следующий байт определяет уровень кадра: STS-1, STS-2 и т. д. За каждым типом кадра закреплен определенный идентификатор.
- *Уровень линии (line)* отвечает за передачу данных между двумя мультиплексорами сети. Протокол этого уровня работает с кадрами разных уровней STS-n для выполнения различных операций мультиплексирования и демультиплексирования, а также вставки и удаления пользовательских данных. Таким образом, линией называется поток кадров одного уровня между двумя мультиплексорами. Протокол линии также ответственен за проведения операций реконфигурирования линии в случае отказа какого-либо ее элемента – оптического волокна, порта или соседнего мультиплексора.

- *Уровень тракта (path – путь)* отвечает за доставку данных между двумя конечными пользователями сети. Тракт (путь) – это составное виртуальное соединение между пользователями. Протокол тракта должен принять данные, поступающие в пользовательском формате, например формате T1, и преобразовать их в синхронные кадры STS-n/STM-m.

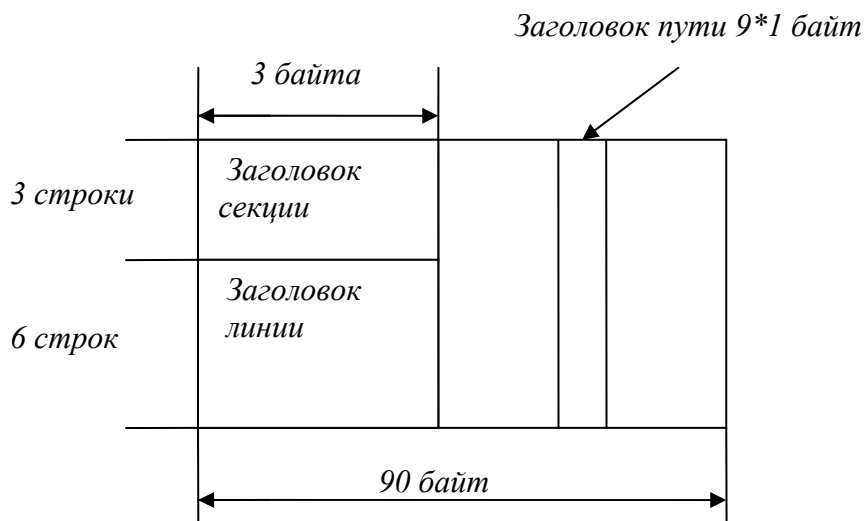
STM-1

Первичным цифровым потоком СЦИ является модуль STM-1, имеющий скорость передачи 155, 52 Мбит/с.

Модуль STM-1 состоит из 2430 байт и обычно изображается в виде таблицы из 9 строк по 270 байт (рис. 1). Период повторения STM-1 составляет 125 мкс, что соответствует частоте повторения 8000 Гц. Каждый байт соответствует каналу со скоростью передачи 64 кбит/с.

STM-1 содержит три основные блока (Рис. 2):

- секционный заголовок SOH (Section Overhead)
- блок нагрузки (payload)
- указатель PTR (pointer)



Байты STM-1 передаются, начиная с левого верхнего угла слева направо, сверху вниз.

Кадр состоит из 9 строк и 90 столбцов, то есть из 810 байт данных. Между устройствами сети кадр передается последовательно по байтам – сначала первая строка слева направо, затем вторая и т. д. Первые 3 байта каждой строки представляют собой служебные заголовки. Первые 3 строки представляют собой заголовок из 9 байт протокола уровня секции и содержат данные, необходимые для контроля и реконфигурации секции. Остальные 6 строк составляют заголовок протокола линии, который используется для реконфигурации, контроля и управления линией. Устройства сети

SONET/SDH, которые работают с кадрами, имеют достаточный буфер для размещения в нем всех байт кадра, протекающих синхронно через устройство, поэтому устройство для анализа информации на некоторое время имеет полный доступ ко всем частям кадра. Таким образом, размещение служебной информации в несмежных байтах не представляет сложности для обработки кадра.

Еще один столбец представляет собой заголовок протокола пути. Он используется для указания местоположения виртуальных контейнеров внутри кадра, если кадр переносит низкоскоростные данные пользовательских каналов типа T1/E1. Местоположение виртуальных контейнеров задается не жестко, а с помощью системы указателей (*pointers*).

Концепция указателей является ключевой в технологии SONET/SDH. Указатель призван обеспечить синхронную передачу байт кадров с асинхронным характером вставляемых и удаляемых пользовательских данных.

Основные элементы STM-1

1 Контейнер C

Для того, чтобы быть переданным в составе модуля STM-1, любой исходный цифровой поток, как синхронный, так и плезиохронный, должен быть помещен в соответствующий контейнер.

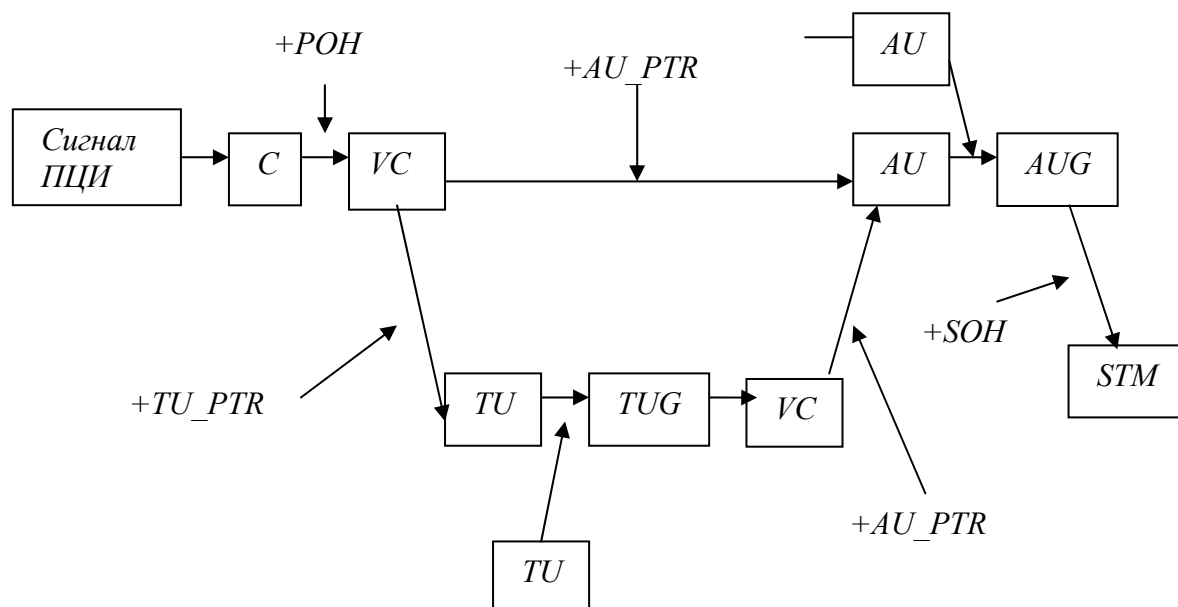


Рис. 3. Образование структур СЦИ

Термин "контейнер" описывает информационную структуру синхронной сети определенной емкости, требуемую для передачи данного исходного цифрового потока. Размер контейнера указывается в байтах. Все байты контейнера передаются за 125 мкс. Принятые размеры контейнеров соответствуют цифровым потокам ПЦИ

Таблица 3

| Обозначение контейнера | Передаваемый поток, кбит/с |
|------------------------|----------------------------|
| С-11 | 1 544 |
| С-12 | 2 048 |
| С-2 | 6 312 |
| С-3 | 44 736 или 34 368 |
| С-4 | 139 264 |

Передаваемые цифровые потоки должны размещаться в контейнерах. Размещение выполняется с помощью побитного и побайтного выравнивания для плезиохронных сигналов, причем наряду с отрицательным используются нулевое и положительное выравнивания.

Контейнер содержит:

1. Собственно передаваемую нагрузку (например, цифровой поток ПЦИ)
2. Фиксированные байты и биты выравнивания (фиксированная вставка). Эти байты (или биты) никогда не переносят нагрузки и используются только для приближенного увеличения скорости передачи до скорости передачи соответствующего контейнера.
3. Биты точного выравнивания. В этих битах по необходимости могут размещаться биты нагрузки или биты вставки.
4. Биты управления выравниванием показывают приемнику, что именно в данный момент располагается в битах точного выравнивания: биты нагрузки или биты вставки.

2 Виртуальный контейнер VC

К каждому контейнеру С добавляется трактовый заголовок РОН (Path Overhead). Эта совокупность называется виртуальным контейнером VC (Virtual Container) и передается через сеть как неизменяемая единица (см. Рис. 4).

В РОН содержится служебная информация, позволяющая отслеживать надежность транспортировки контейнера через сеть от источника к получателю. РОН добавляется в начале тракта при формировании VC и устраняется в конце тракта при расформировании контейнера.

Кроме того, в РОН содержится служебная информация для целей контроля и управления сетью.

В зависимости от размера виртуальный контейнер может транспортироваться в модуле STM-1 в одиночку или может быть объединен в больший VC, который затем непосредственно транспортируется в STM-1.

Различают виртуальные контейнеры высшего уровня HO (high-order) и низшего уровня LO (low-order).

Все контейнеры, передаваемые в составе одного "большого" контейнера относятся к нижнему уровню LO. Контейнерами уровня LO являются VC-11, VC-12 и VC-2. VC-3 относят к уровню LO, если этот контейнер передается в составе VC-4.

Контейнеры, непосредственно переносимые в модуле STM-1, относятся к уровню HO. VC-4 - контейнер уровня HO. То же относится и к VC-3, если он передается непосредственно.

3 Административный блок AU

Виртуальные контейнеры высшего уровня VC-4 и VC-3 транспортируются непосредственно в STM-1.

В этом случае указатели (блок AU_PTR) в составе STM-1 отражают фазовые соотношения между модулем и соответствующим виртуальным контейнером. Та часть модуля STM-1, в пределах которой может "плавать" VC, называется административной группой AU (Administrative Unit). Соответствующий указатель, называемый указателем AU (AU_PTR), рассматривается как часть AU (см. Рис. 4). Трехбайтные указатели AU помещаются в первые 9 байт четвертой строки модуля STM-1.

Различают AU-4 и AU-3. В модуле STM-1 можно передавать один AU-4 или три AU-3.

Передача VC-3 возможна непосредственно (AU-3) в STM-1 или через AU-4. Во втором случае три VC-3 должны быть объединены в один VC-4 (см. TU-3, раздел 4).

4 Группа административных блоков AUG

Несколько AU могут быть побайтно объединены в одну группу AU (AUG - AU group) (см. Рис. 9). AUG представляет собой информационную структуру, соответствующую STM-1 без SOH. Добавлением SOH к AUG получается STM-1. AUG может состоять из одного AU-4 или трех AU-3.

5 Нагрузочный блок TU

За исключением VC-4 все VC могут быть объединены в большие VC и транспортироваться в STM-1. "Меньшие" VC могут плавать по фазе

внутри "больших" (высшего уровня) VC. Для отражения фазовых соотношений между двумя VC используются указатели, помещаемые в фиксированном месте VC высшего уровня. Нагрузочным блоком TU (Tributary Unit) называется информационная структура, используемая для описания составляющей контейнера высшего уровня НО, внутри которой может плавать VC низшего уровня LO, и соответствующие указатели (TU pointer) (см. Рис. 4).

Стандартизированы нагрузочные блоки TU-11, TU-12, TU-2, TU-3.

6 Группа нагрузочных блоков TUG

Перед объединением в контейнер высшего уровня несколько TU побайтно объединяются в одну группу. Такая группа называется группой нагрузочных блоков TUG (Tributary unit group) (см. Рис. 4).

Определены TUG-2 и TUG-3.

Отказоустойчивость сети SONET/SDH встроена в ее основные протоколы. Этот механизм называется автоматическим защитным переключением – Automatic Protection Switching, APS. Существуют два способа его работы. В первом способе защита осуществляется по схеме 1:1. Для каждого рабочего волокна (и обслуживающего его порта) назначается резервное волокно. Во втором способе, называемом 1:п, для защиты п волокон назначается только одно защитное волокно.

В схеме защиты 1:1 данные передаются как по рабочему, так и по резервному волокну. При выявлении ошибок принимающий мультиплексор сообщает передающему, какое волокно должно быть рабочим. Обычно при защите 1:1 используется схема двух колец, похожая на двойные кольца FDDI (рис, 6.10), но только с одновременной передачей данных в противоположных направлениях. При обрыве кабеля между двумя мультиплексорами происходит сворачивание колец, и, как и в сетях FDDI, из двух колец образуется одно рабочее.

Применение схемы резервирования 1:1 не обязательно требует кольцевого соединения мультиплексоров, можно применять эту схему и при радиальном подключении устройств, но кольцевые структуры решают проблемы отказоустойчивости эффективнее – если в сети нет колец, радиальная схема не сможет ничего сделать при обрыве кабеля между устройствами.

Управление, конфигурирование и администрирование сети SONET/SDH также встроено в протоколы. Служебная информация протокола позволяет централизованно и дистанционно конфигурировать пути между конечными пользователями сети, изменять режим коммутации потоков в кросс-коннекторах, а также собирать подробную статистику о работе сети. Существуют мощные системы управления сетями SDH, позволяющие прокладывать новые каналы простым перемещением мыши по графической схеме сети.

Применение цифровых первичных сетей

Сети SDH и сети плезиохронной цифровой иерархии очень широко используются для построения как публичных, так и корпоративных сетей. Особенно популярны их услуги в США, где большинство крупных корпоративных сетей построено на базе выделенных цифровых каналов. Эти каналы непосредственно соединяют маршрутизаторы, размещаемые на границе локальных сетей отделений корпорации.

При аренде выделенного канала сетевой интегратор всегда уверен, что между локальными сетями существует канал вполне определенной пропускной способности. Это положительная черта аренды выделенных каналов. Однако при относительно небольшом количестве объединяемых локальных сетей пропускная способность выделенных каналов никогда не используется на 100 %, и это недостаток монопольного владения каналом – предприятие всегда платит не за реальную пропускную способность. В связи с этим обстоятельством в последнее время все большую популярность приобретает служба сетей frame relay, в которых каналы разделяют несколько предприятий.

На основе первичной сети SDH можно строить сети с коммутацией пакетов, например frame или ATM, или же сети с коммутацией каналов, например ISDN. Технология ATM облегчила эту задачу, приняв стандарты SDH в качестве основных стандартов физического уровня. Поэтому при существовании инфраструктуры SDH для образования сети ATM достаточно соединить ATM-коммутаторы жестко сконфигурированными в сети SDH-каналами.

Технология SONET/SDH очень экономично решает задачу мультиплексирования и коммутации потоков различной скорости, поэтому сегодня она, несмотря на невозможность динамического перераспределения пропускной способности между абонентскими каналами, является наиболее распространенной технологией создания первичных сетей. Технология ATM, которая хотя и позволяет динамически перераспределять пропускную способность каналов, получилась значительно сложнее, и уровень накладных расходов у нее гораздо выше.

Список используемой литературы:

1. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб.:Питер, 2002.–672с.:ил.
2. <http://pbxlib.com.ua>
3. <http://book.itep.ru>
4. <http://lib.csu.ru>