

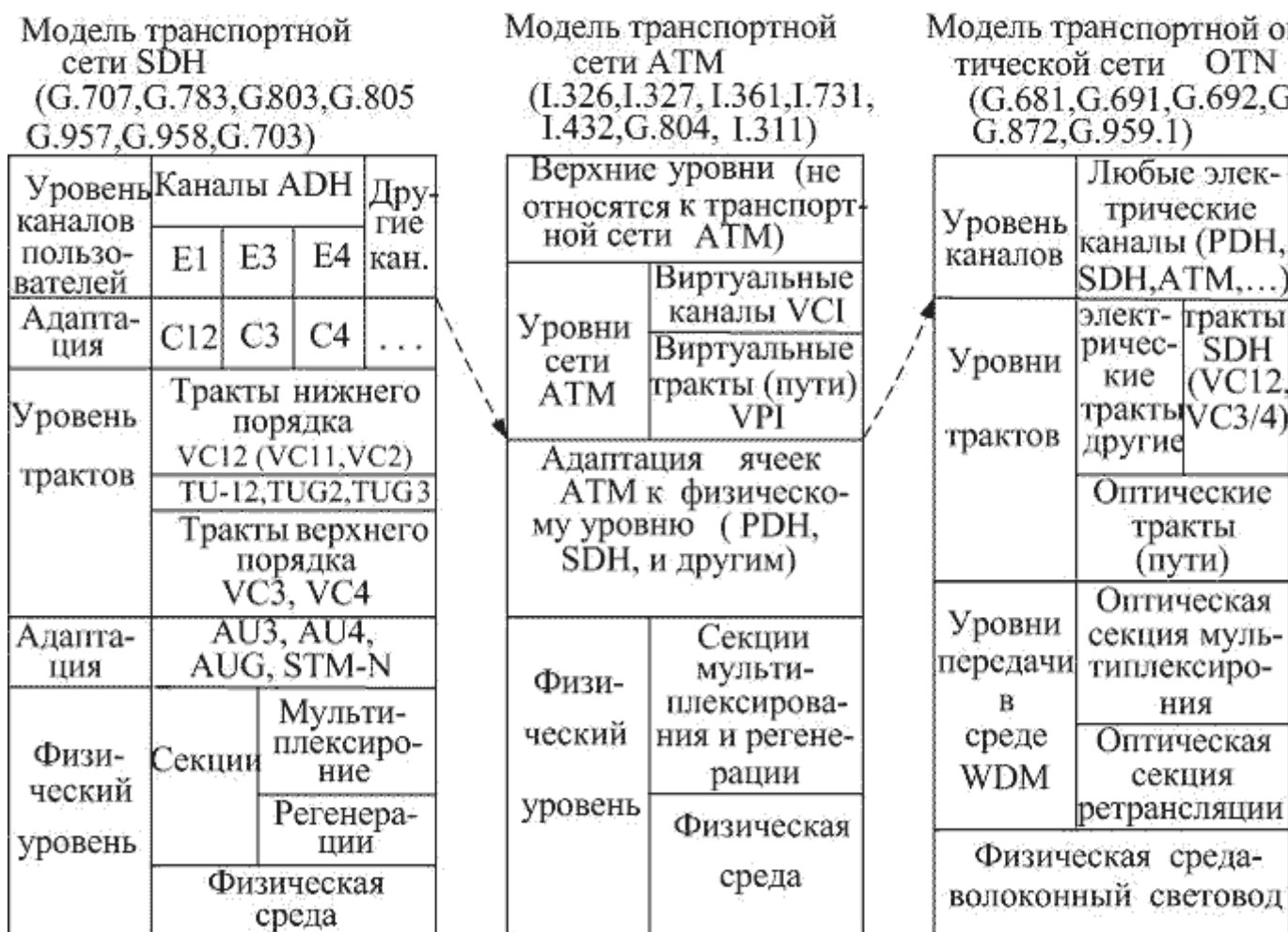
## 2. Транспортные сети

### 2.1. Модели транспортных сетей SDH, ATM, ON

Развитие сетей связи без надежных транспортных информационных магистралей немыслимо. Основу таких магистралей составляют волоконно-оптические и радиорелейные системы передачи с технологическими решениями SDH, ATM, WDM на волоконно-оптических линиях и SDH, ATM на радиолиниях. Эти магистрали соединяют не только национальные узлы связи, но и международные. Изначально при проектировании таких сетей были решены задачи согласования сетей связи разных операторов. Это достигнуто благодаря международным стандартам.

В стандартах отражены модели транспортных сетей (рисунок 2.1), имеющих уровневую архитектуру. Каждая модель достаточно подробно представлена в соответствующих рекомендациях ИТУ-Т.

Указания на рекомендации приведены в названиях на рисунке 2.1.



\* Все сокращения приведены в глоссарии

#### 2.1.1. Модель транспортной сети SDH

Модель транспортной сети SDH определена рекомендацией G.803 "Архитектура транспортных сетей, основанных на синхронной цифровой иерархии" (06/1997) и базируется на основных положениях рекомендаций G.707 "Интерфейсы сетевых узлов для SDH" (06/1996), G.783 "Характеристики функциональных блоков оборудования"

SDH” (06/1997) и G.841 “Типы и характеристики архитектур защиты сетей SDH” (07/1995).

Моделью определяются возможности каждого уровня сети. Для понимания этих возможностей необходимо рассмотреть процедуры мультиплексирования и передачи данных в структурах SDH.

Что представляет собой SDH?

По определению *ITU-T*, *SDH* – это иерархия цифровых транспортных структур, стандартизированных для транспортировки соответственно адаптированной полезной нагрузки к физическим сетям передачи.

Иерархия SDH представлена в таблице 2.1 синхронными транспортными модулями STM-N (synchronous transport modul, N=0, 1, 4, 16, 64, 256).

Таблица 2.1. Иерархия синхронных транспортных модулей

Уровень STM	Скорость передачи, кбит/с	Длительность цикла, мкс
STM - 0	5184	125
STM - 1	155520	125
STM - 4	622080	125
STM - 16	2488320	125
STM - 64	9953280	125
STM - 256	39813120	125

Базовым уровнем принято считать (по определению *ITU-T*) STM-1, так как скоростные режимы передачи последующих STM-N получены простым умножением на 4, 16, 64, 256. Уровень STM-0, принятый за базовый ANSI для Северной Америки, составляет третью часть STM-1.

SDH позволяет при любой текущей скорости передачи данных, прежде всего плезиохронных (исключая 8,448 Мбит/с), преобразовывать их в данные виртуальных контейнеров, которые, в свою очередь, можно объединять в стандартные форматы (структуры), чтобы формировать STM-N.

Различные контейнеры можно смешивать, что позволяет переносить различные скорости одновременно внутри одной структуры.

Рекомендациями *ITU-T* определена общая схема мультиплексирования SDH (рисунок 2.2), в которой приняты следующие обозначения:

C-n, n=1,2,3,4 – контейнер, блок данных, предназначенный для транспортировки через сеть в составе STM-N сигналов со скоростями от 1,5 Мбит/с до 140 Мбит/с. Число n указывает на исходную нагрузку. В европейских стандартах принято переносить данные 2 Мбит/с, 34 Мбит/с, 140 Мбит/с.

Чаще всего применяется контейнер C-12, в который асинхронно распределяются данные по скорости 2048 кбит/с. При этом выполняются операции согласования скоростей контейнера и поступающих данных.

VC-n, n=11, 12, 2, 3, 4 – виртуальный контейнер, это контейнер с определенным маршрутом передачи через сеть. VC-n – это контейнер плюс заголовок маршрута РОН (Path Over Head).

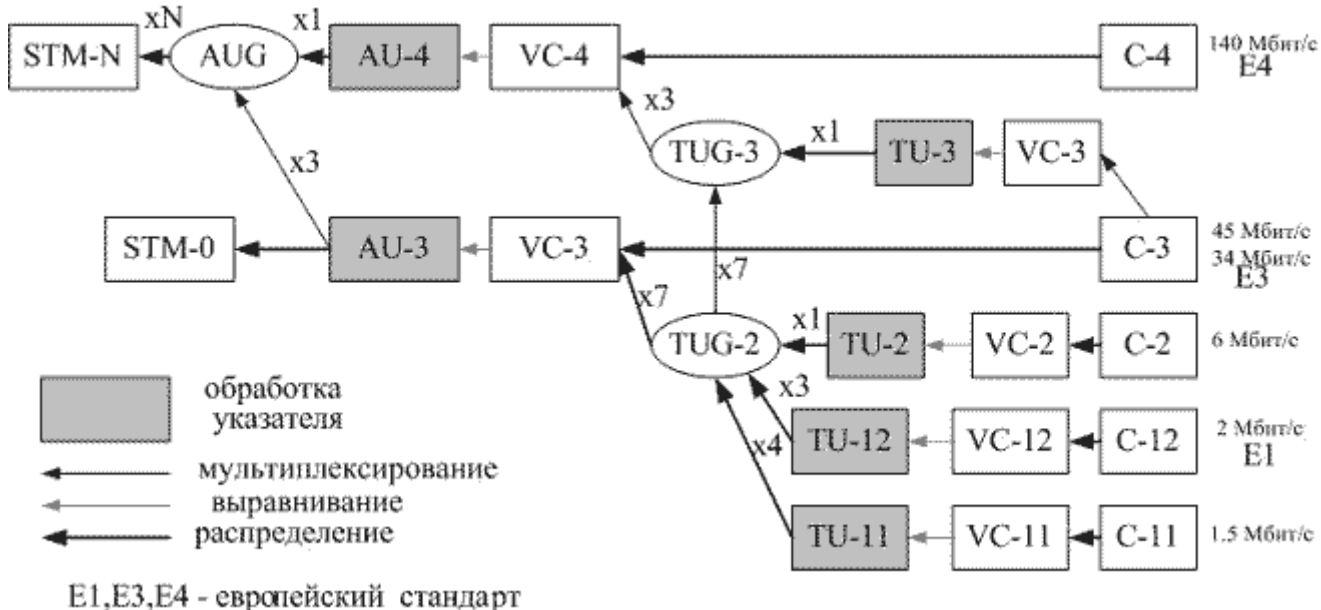


Рисунок 2.2. Общая схема мультиплексирования SDH

Виртуальные контейнеры нижнего порядка (VC-n, n=1,2) состояются из базовых контейнеров C-n, n=1,2.

Виртуальные контейнеры высокого порядка VC-n (n=3,4) состояются либо из базовых контейнеров (C-n, n=3,4), либо из набора групп блоков, образованных из транспортных блоков TUG (Tributary Unit Groups) вместе с РОН. Заголовок тракта верхнего порядка включает также как и заголовок тракта нижнего порядка, информацию о качестве маршрута виртуального контейнера, сигналы служебного назначения и индикацию тревожных состояний.

РОН верхнего порядка включает информацию о составе VC-n нижнего порядка.

TU-n, n=1,2,3 – транспортный блок, включает виртуальный контейнер и указатель (PTR). Он предназначен для адаптации между уровнями маршрута нижнего и верхнего порядков. Значение указателя указывает фазу выравнивания виртуального контейнера по отношению к указателю TU-n. Расположение этого указателя фиксируется по отношению к этому виртуальному контейнеру высокого уровня.

На рисунке 2.3 представлены блоки C-n, VC-n, TU-n на примере C-12, VC-12, TU-12.

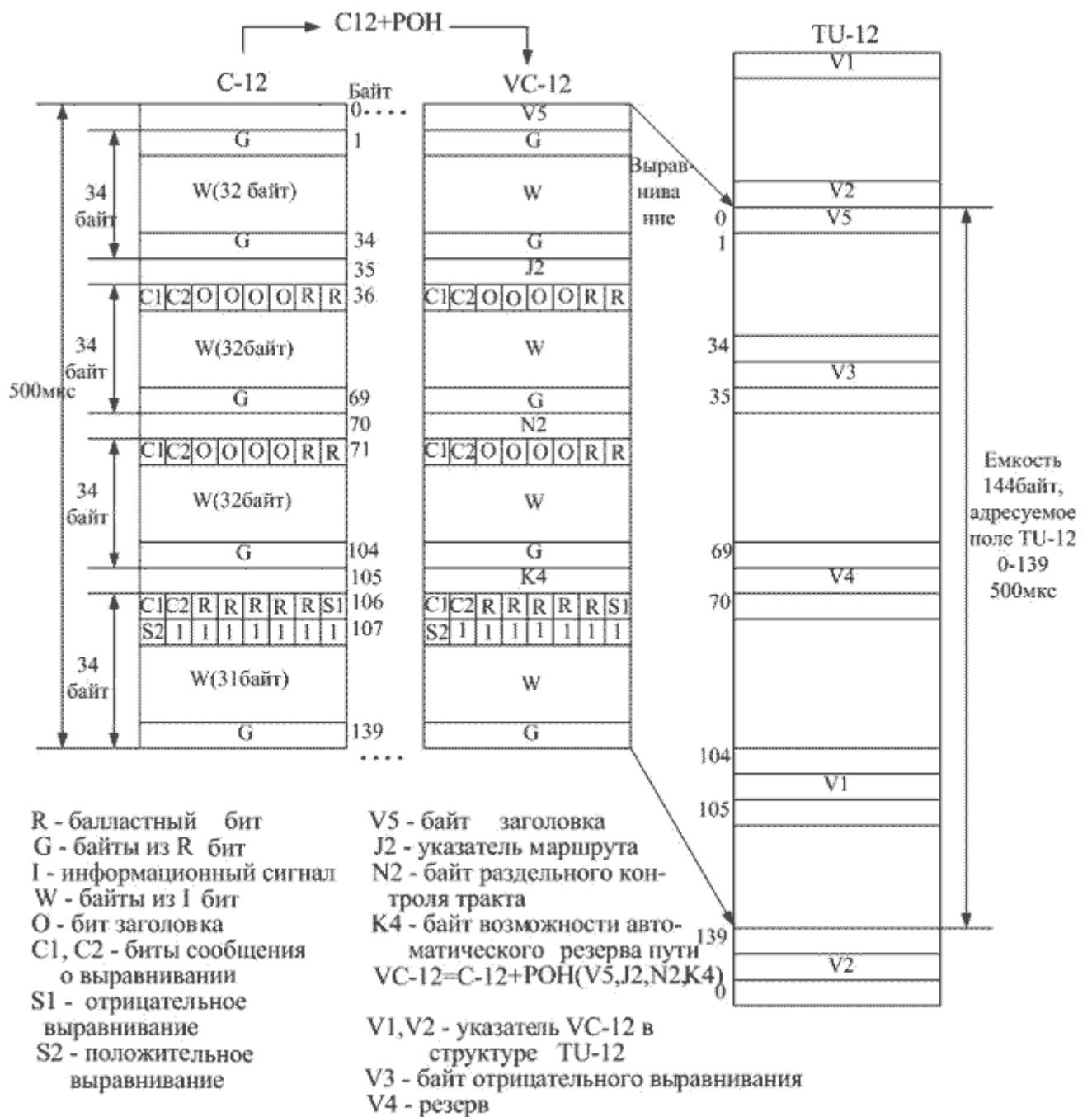


Рисунок 2.3. Блоки данных C-12, VC-12, TU-12

TUG-n, n=2 или 3 – группа транспортных блоков, формируемая группой идентичных блоков с виртуальными контейнерами, позволяет конструировать нагрузки со смешанной пропускной способностью. Формирование этих структур показано на рисунке 2.4.

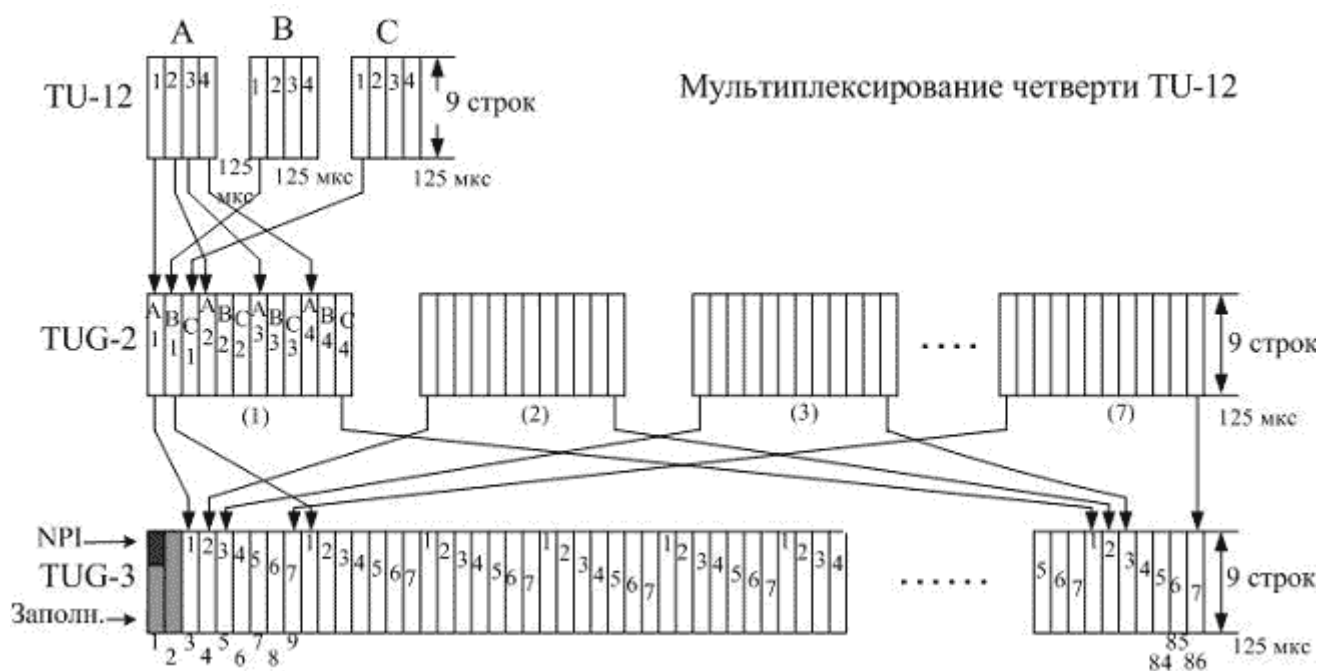


Рисунок 2.4. Мультиплексирование TU-12 (TUG-2/TUG-3)

Распределение TU-12 в TUG-2 и TUG-2 в TUG-3 это фиксированное распределение. Включение TUG-3 предназначено для того, чтобы предоставить структуру для скорости передачи 34,368 Мбит/с или 44,736 Мбит/с. Индикатор нулевого указателя NPI (Null Pointer Indicator) состоит из первых трех байтов первого столбца и вводится для того, чтобы дать возможность различать группы TUG-3, содержащие несколько групп TUG-2, и группы TUG-3, содержащие TU-3. Временной интервал формирования каждого блока – 125 мкс.

Распределение TUG-3 в VC-4 является фиксированным, как показано на рисунке 2.5. Первый столбец VC-4 содержит девять байт трактового заголовка POH, которые обеспечивают контроль ошибок, маркировку сигнала, информацию о состоянии маршрута и информацию о структуре мультиплексирования VC-4. Второй и третий столбцы – фиксированный наполнитель.

AU-n, n=3 или 4 – административный блок, состоит из виртуального контейнера VC-n (n=3,4) плюс указатель административного блока и обеспечивает адаптацию между маршрутами высокого порядка и уровнем секции мультиплексирования. Значение указателя отмечает фазу выравнивания виртуального контейнера VC-n по отношению к циклу STM-1 (STM-N). Значение указателя фиксируется внутри STM-1.

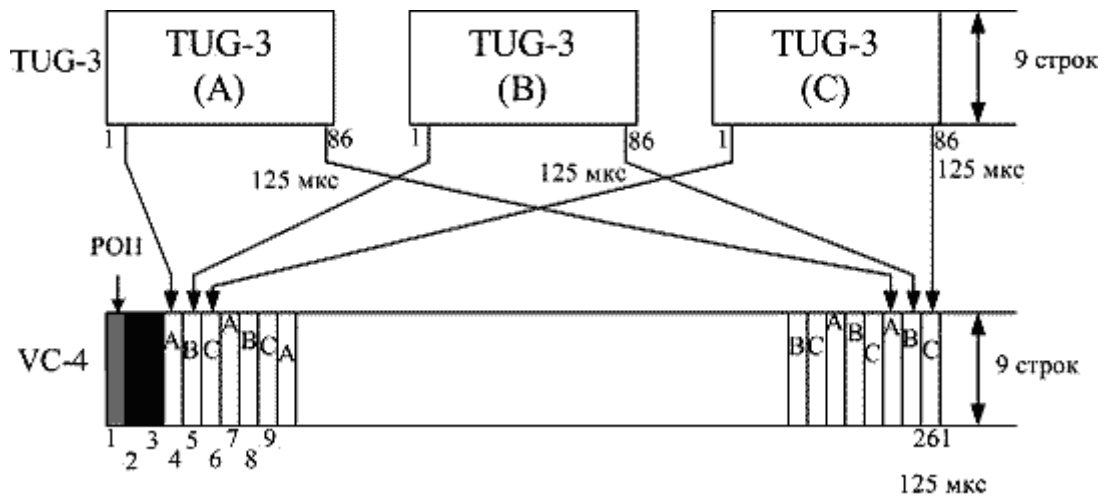


Рисунок 2.5. Распределение TUG-3 в VC-4

На рисунке 2.6 показано распределение VC-4 в STM-1 через AU-4/AUG.

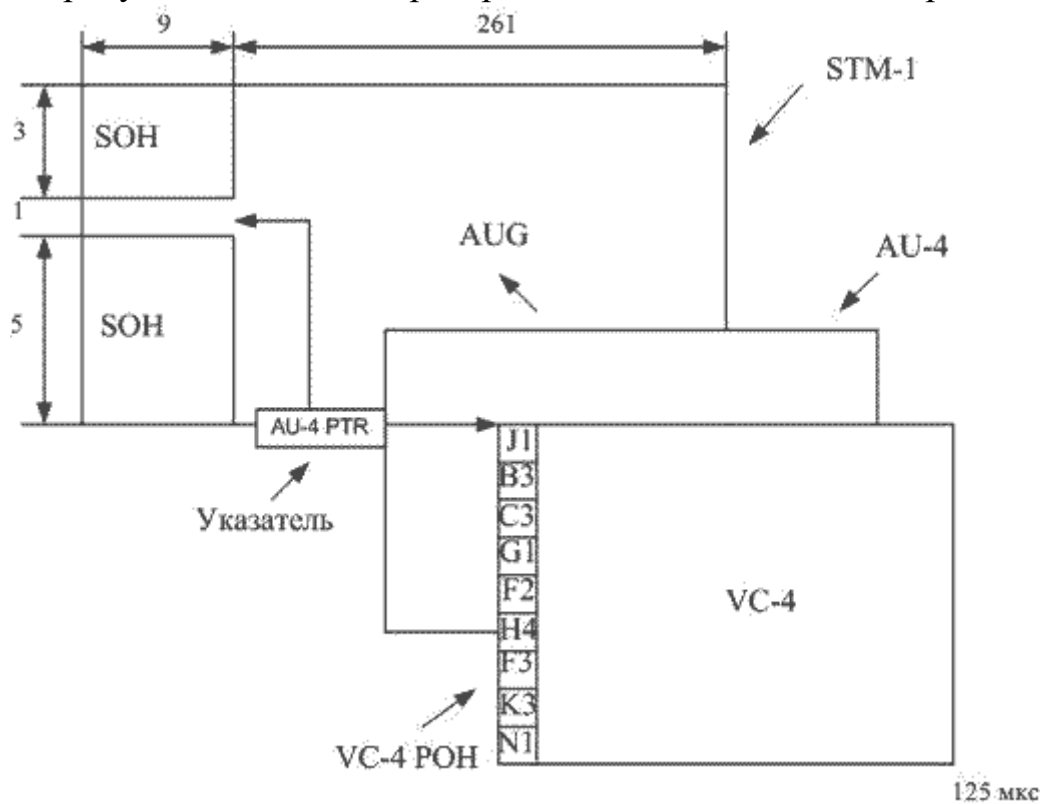


Рисунок 2.6. Распределение VC-4 в STM-1 через AU-4/AUG

Адресуемое пространство указателя AU-4 PTR составляет 0-782 триады байтов. AU-4 помещается прямо в AUG, который вместе с секционными заголовками SOH (Section Over Head) формирует STM-1 и STM-N.

Таким образом, рассмотрена структура мультиплексирования SDH. В этой структуре чаще всего применяется путь объединения данных, изображенный на рисунке 2.7.

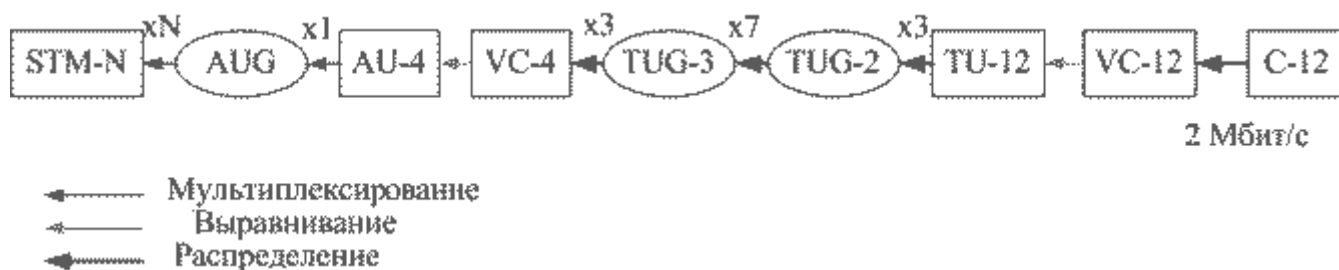


Рисунок 2.7. Мультиплексирование данных 2.048 Мбит/с в STM-N

На рисунках 2.8, 2.9 представлены заголовки РОН VC-12 и VC-3/4 с указанием назначения всех битов в каждом байте.

На рисунках 2.10, 2.11 представлены указатели PTR транспортных TU-12, TU-2, TU-11 и административных AU-3, AU-4 (и TU-3) блоков с указанием назначения битов в байтах.

На рисунке 2.12 отмечено назначение всех байтов и битов секционных заголовков STM-1 (RSOH и MSOH).

Структура цикла STM-N, если  $N=4,16,64,256$ , содержит группы административных блоков AUG, например, сигнал STM-4 содержит четыре группы AUG и информацию заголовка секции. Четыре AUG мультиплексируются через байт (побайтно) и имеют фиксированное фазовое соотношение с STM-4.

Пример мультиплексирования цикла STM-4 показан на рисунке 2.13.

Структура SOH STM-4 показана на рисунке 2.14.

В этот заголовок секций входят данные по синхронизации регенераторной секции (A1, A2), сохраняемые для каждого STM-1 внутри STM-N, входят данные служебного обмена на секции STM-4, данные контроля ошибок на секции мультиплексирования STM-4 с сохранением данных секций STM-1, метка качества тактового синхросигнала и служебный обмен на секции STM-4. В поле административных указателей сохраняются значения указателей AU-4.

Аналогично STM-4 строится любая структура STM-N,  $N=16,64,256$ .

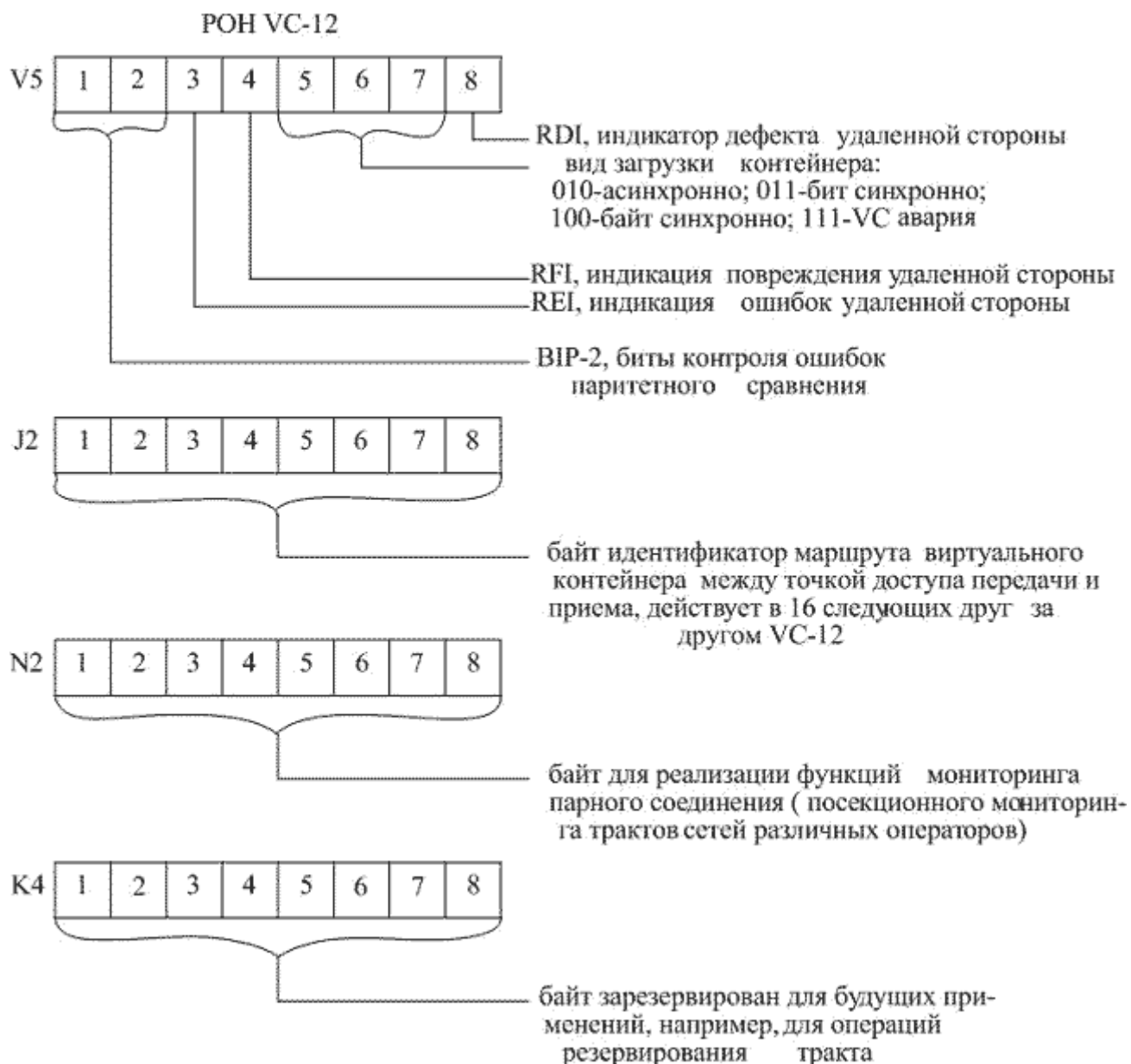


Рисунок 2.8. Структура трактового заголовка POH VC-12, представленного байтами V5, J2, N2, K4



POH VC 3/4

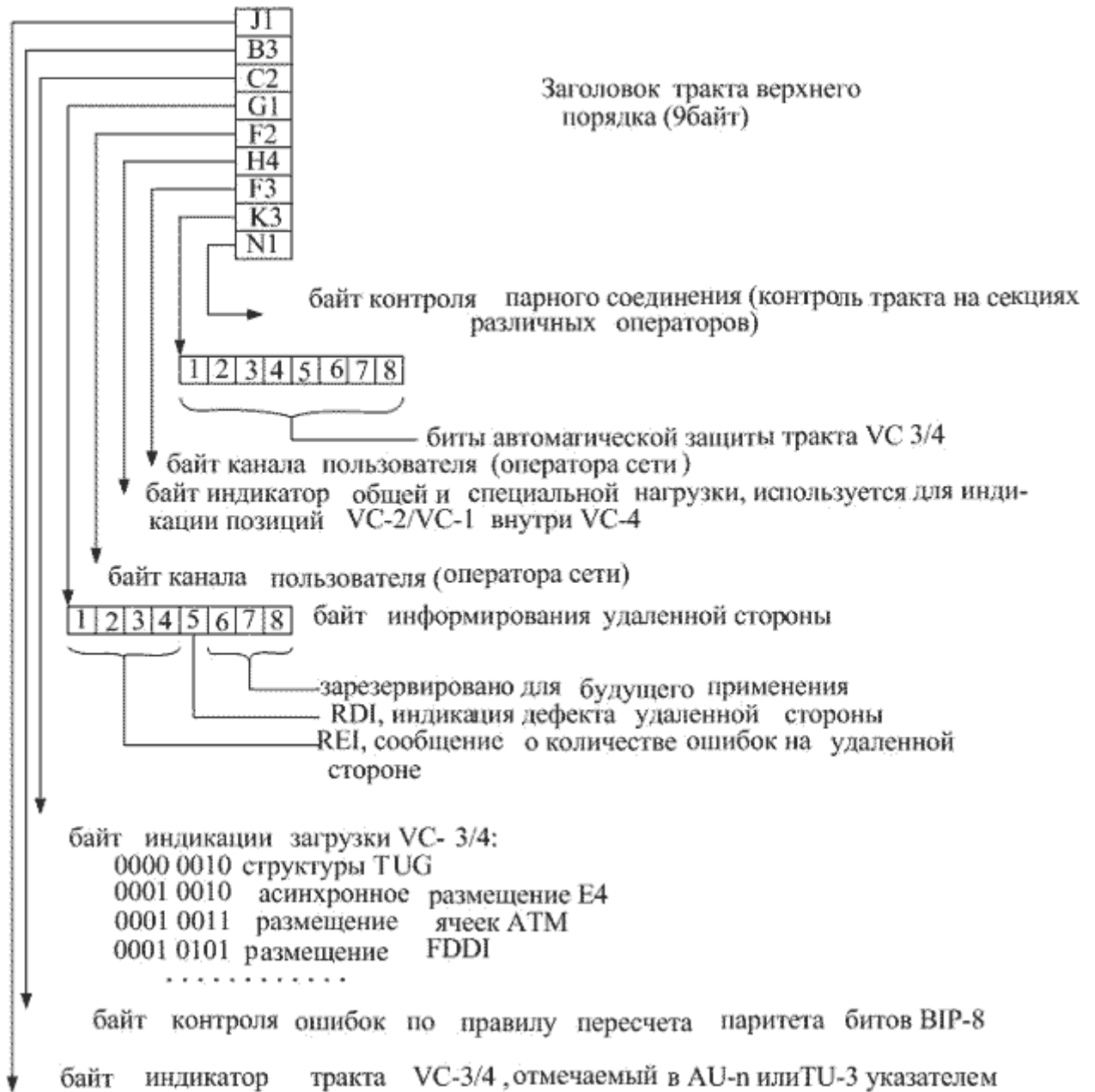


Рисунок 2.9. Структура трактового заголовка POH VC3/VC4

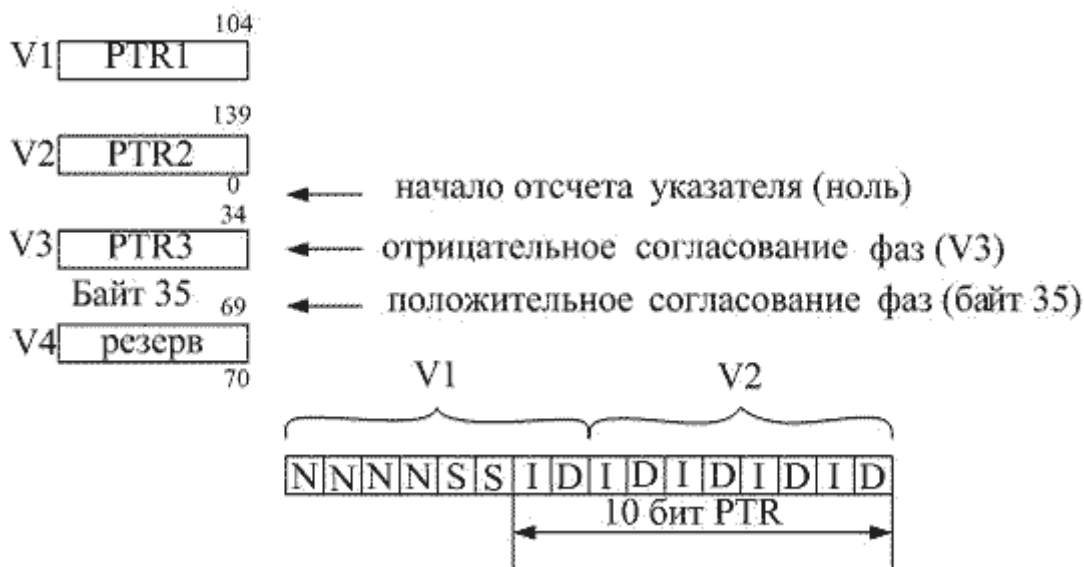


Рисунок 2.10 Структуры указателей TU2, TU12, TU11

N – биты флага новых данных (1001 или 0110)

S – бит спецификации (00-TU2, 10-TU12, 11-TU11)

I – возрастание величины указателя (PTR)

D – уменьшение величины указателя (PTR)

Адресуемое пространство указателя TU2 0-427

TU12 0-139

TU11 0-103

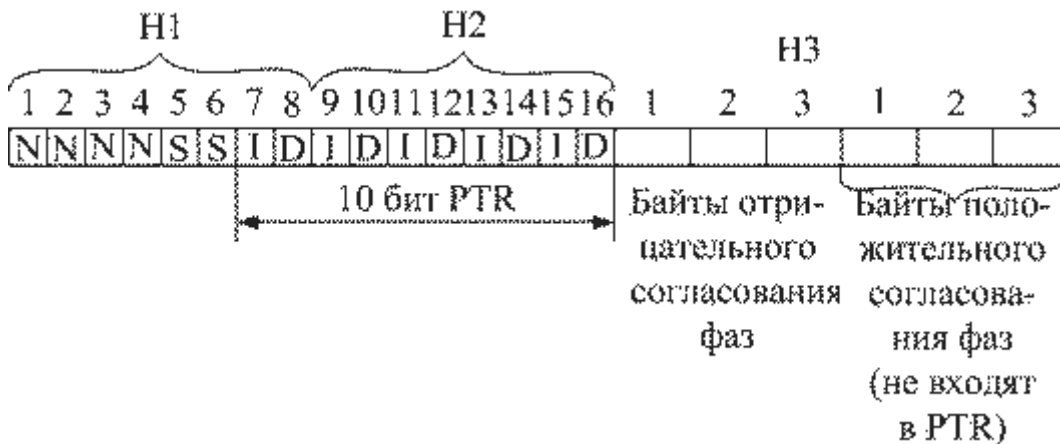


Рисунок 2.11. Структуры указателей AU-n / TU

N – биты флага новых данных (1001 или 0110)

S – биты индикации (10 AU4/AU3, TU3)

I – возрастание величины указателя (PTR)

D – уменьшение величины указателя (PTR)

Адресуемое пространство указателя AU3, AU4 0-782 TU3 0-764

Индикатор сцепления нагрузки, переносимой TU3, 1001SS1111111111 AU3,

AU4



Рисунок 2.12. Структура секционных заголовков в STM-1

Каждый прямоугольник структуры заголовка представляет собой один байт служебного назначения. Скорость передачи каждого байта 64 кбит/с.

A1, A2 – два типа байтов синхронизации STM-1:

A1: 11110110; A2: 00101000;

I0 – маршрут регенерационной секции или номер STM-1 в STM-N;

B1 – контроль ошибок по алгоритму паритета битов VIP-8 на регенерационной секции;

E1, E2 – речевой канал служебной связи;

F1 – канал передачи данных обслуживания регенерационной секции;

D1-D12 – каналы передачи данных сети управления транспортировкой (D1...D3 192 кбит/с на RSOH, D4...D12 576 кбит/с на MSOH);

B2 – контроль ошибок по алгоритму паритета битов VIP-24 на секции мультиплексирования;

K1, K2 – автоматическое переключение на резервную секцию мультиплексирования;

S1 – статус синхронизма, переносимого битами STM-1 (синхронизм от первичного, вторичного или других источников);

M1 – индикация ошибок секции мультиплексирования от удаленной стороны;

△ - байты, определяемые физической средой (для радиолиний и медных кабелей);

⊗ - байты национального использования;

⊗ - нескремблируемые байты первой строки SOH.

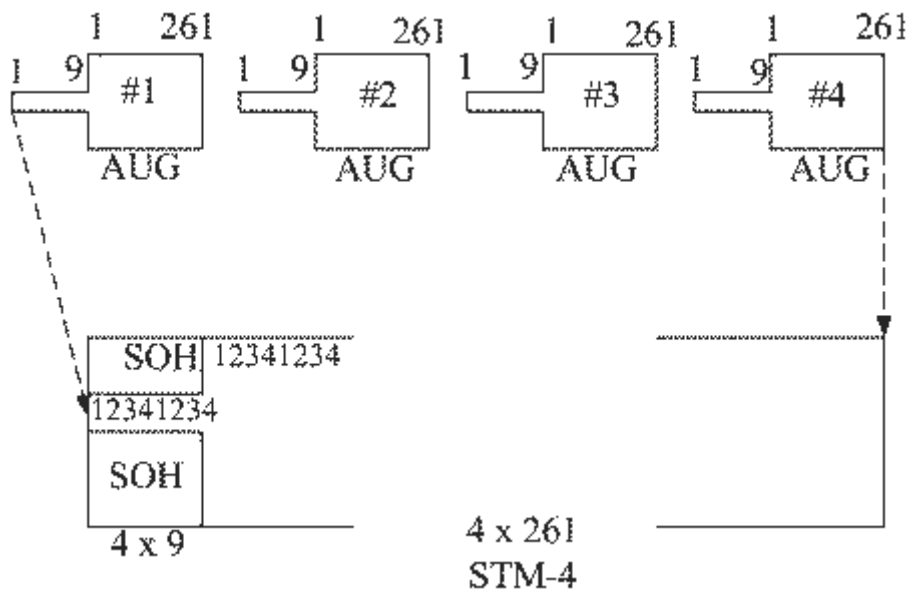


Рисунок 2.13. Мультиплексирование STM-4



Рисунок 2.14. Заголовок SOH STM-4

Рассмотренная схема мультиплексирования SDH полностью отражает модель транспортной сети SDH. При этом необходимо дополнить содержимое физического уровня сведениями о физической среде и передаче в ней. В качестве основной среды передачи STM-N признана среда с одномодовым оптическим кабелем.

Вид линейного сигнала это скремблированный без возвращения к нулю на тактовом интервале (скремблированный – NRZ) – первый всемирный стандарт на передачу сигналов в оптических линиях. Альтернативной средой передачи STM-1 может служить радиорелейная линия или линия с медным коаксиальным кабелем.

На короткие расстояния возможна передача атмосферными оптическими сигналами (менее 1 км). На уровне физическом транспортной сети SDH возможна организация защиты секции мультиплексирования. Для этого в составе MSOH предусмотрены байты управления K1, K2. Разумеется, что для организации защиты требуется другая альтернативная секция мультиплексирования, которая строится параллельно основной рабочей, но с некоторым географическим разнесением.

В завершении краткой характеристики модели транспортной сети SDH необходимо отметить, что сеть SDH, получая информационные данные в виде известных скоростных режимов, формирует из них блоки данных, то

есть преобразует последовательную битовую передачу в транспортные блоки. Эти транспортные блоки в виде циклов STM-N также побитно передаются с высокими скоростями в физической среде, однако при этом имеют эффективную защиту от ошибок передачи.

### **2.1.2. Модель транспортной сети АТМ**

Модель транспортной сети АТМ определена рекомендацией I.326

“Функциональная архитектура транспортных сетей, основанных на АТМ” (11/1995) и базируется на основных положениях ряда других рекомендаций: G.805 “Общая функциональная архитектура транспортных сетей” (1995), I.311 “Общие сетевые аспекты В-ISDN” (1993) и другие.

Моделью определяются возможности более эффективного использования ресурсов цифровых транспортных сетей, в частности сетей SDH. Это достижимо благодаря переходу к передаче информационных пакетов (ячеек), формируемых из данных реального трафика при его поступлении. Таким образом, в физической транспортной сети не происходит распределение ресурсов (емкостей) передачи на фиксированной основе за пользователями, как это имеет место в SDH сети. Физический ресурс (емкость) транспортной сети АТМ остается общим и предоставляется только на время передачи информации любого вида (речи, видео, данных), то есть несинхронизированно (асинхронно) к переносимой среде. Кроме того, эффективность повышается за счет процедур предварительной обработки данных (процедур исключения избыточности в сигнале), например, сжатия. Физический уровень модели транспортной сети АТМ чаще всего ассоциируется с сетью SDH, поэтому выясним сущность выше расположенных уровней (виртуального канала и виртуального тракта). Для этого необходимо определить, что представляет собой асинхронный режим передачи АТМ.

*АТМ* – это пакетная технология коммутации, мультиплексирования и передачи, использующая пакеты малой и фиксированной длины, которые называются ячейками АТМ. Формат ячейки приведен на рисунке 2.15. В ячейке постоянной длины 53 байта (октета) информация пользователя помещается в 48 байт, а заголовок ячейки, 5 байт, содержит информацию для передачи, мультиплексирования и коммутации в сети. Ячейки, передаваемые очень большими скоростями, например, 155 Мбит/с или 622 Мбит/с, обеспечивают сети гибкость и эффективность использования ресурсов.

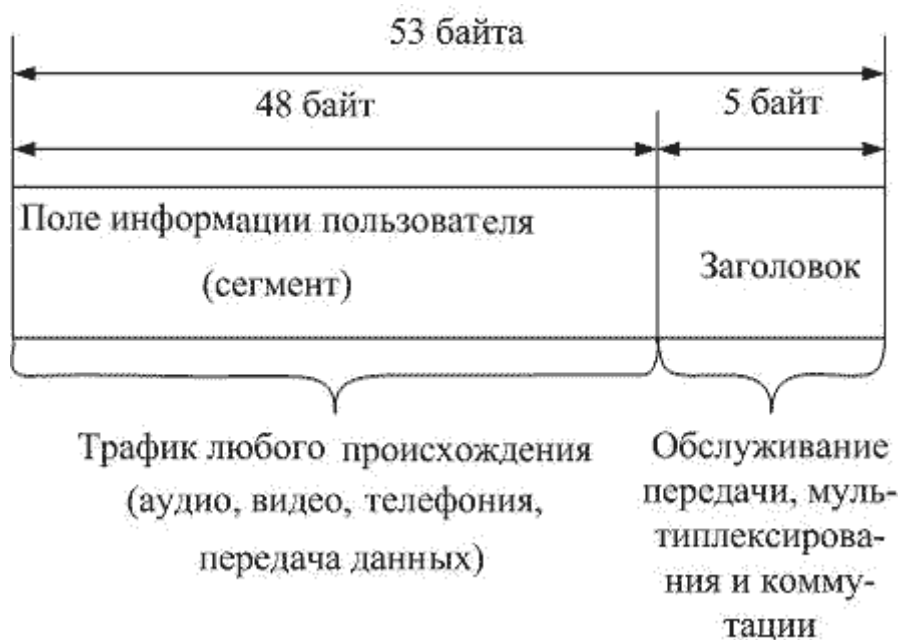


Рисунок 2.15. Структура ячейки АТМ

Технология АТМ определена ИТУ-Т как технология с ориентацией на соединение, то есть до передачи ячеек с данными между двумя окончательными узлами должно быть установление соединения. Для этого пользователь информирует сеть с помощью сигнальной системы о требованиях в отношении качества услуг (пиковое или среднее значение скорости передачи или ширины полосы частот).

Сеть с помощью сигнальной системы образует соединение через все промежуточные узлы. Соединение должно соответствовать требованиям пользователя. Если выделенная скорость передачи соответствует пиковой, то АТМ не дает никаких преимуществ по сравнению с STM, которая работает с пиковыми значениями. Если выделенная скорость передачи меньше пиковой, то возрастает вероятность возникновения перегрузки сети. Для устранения перегрузок необходимо применение механизмов контроля перегрузок и управления трафиком.

Сеть АТМ не только ориентирована на соединения, она может поддерживать передачу данных без установления соединения, то есть дейтаграммный режим. В случае если в сеть АТМ не поступает нагрузки, по ней передается непрерывный поток пустых ячеек, которые могут заполнять пространство и между информационными ячейками.

Последовательность принимаемых ячеек в точке назначения одинакова последовательности ячеек, посылаемых от источника. В других пакетных сетях это условие необязательно.

Технология АТМ обеспечивает приспособление скорости передачи к скорости генерации ячеек, что позволяет рационально использовать емкость сети. Таким образом, при снижении скорости передачи одним источником может быть организована или увеличена скорость передачи другими источниками, то есть мультиплексирование имеет статистический характер. Такое мультиплексирование ячеек обеспечивает простую интеграцию разной исходной информации по одному каналу (тракту), что является одним из

основных достоинств АТМ.

Необходимо подчеркнуть и проблемы АТМ.

При передаче ячеек наблюдается неравномерность отклонения времени передачи ячеек CDV (Cell Delay Variation). При сборке и разборке ячеек наблюдается отклонение во времени CAD (Cell Assembly/Reassembly Delay). CDV возникает в очередях ожидания в коммутации и мультиплексорах, в результате чего изменяется интервал между двумя соседними ячейками. CAD появляется потому, что информационные данные записываются временно в память до их упаковки в ячейку. Время ожидания в памяти зависит от скорости генерирования данных.

Однако главный недостаток АТМ состоит в том, что должна обеспечиваться значительная избыточность при установлении соединения, даже в случае передачи нескольких ячеек, что эффективнее реализуется в дейтаграммных сетях.

Важно подчеркнуть, что АТМ не зависит от реализации физического уровня, то есть ячейки можно передавать внутри STM-N, цикла PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) и другими системами.

Важнейшая функция АТМ – коммутация. Она осуществляет:

- контроль запросов на соединение;
- контроль перегрузки сети;
- распределение ресурсов сети между пользователями;
- контроль трафика сети (пиковой или средней скорости) и другие.

Функции АТМ выстроены относительно ячеек АТМ. Структуры ячеек и их заголовки приведены на рисунке 2.16.

Обозначения на рисунке 2.16:

GFC, Generic Flow Control – общее управление/контроль потока;

VPI, Virtual Path Identifier – идентификатор виртуального пути;

VCI, Virtual Canal Identifier – идентификатор виртуального канала.

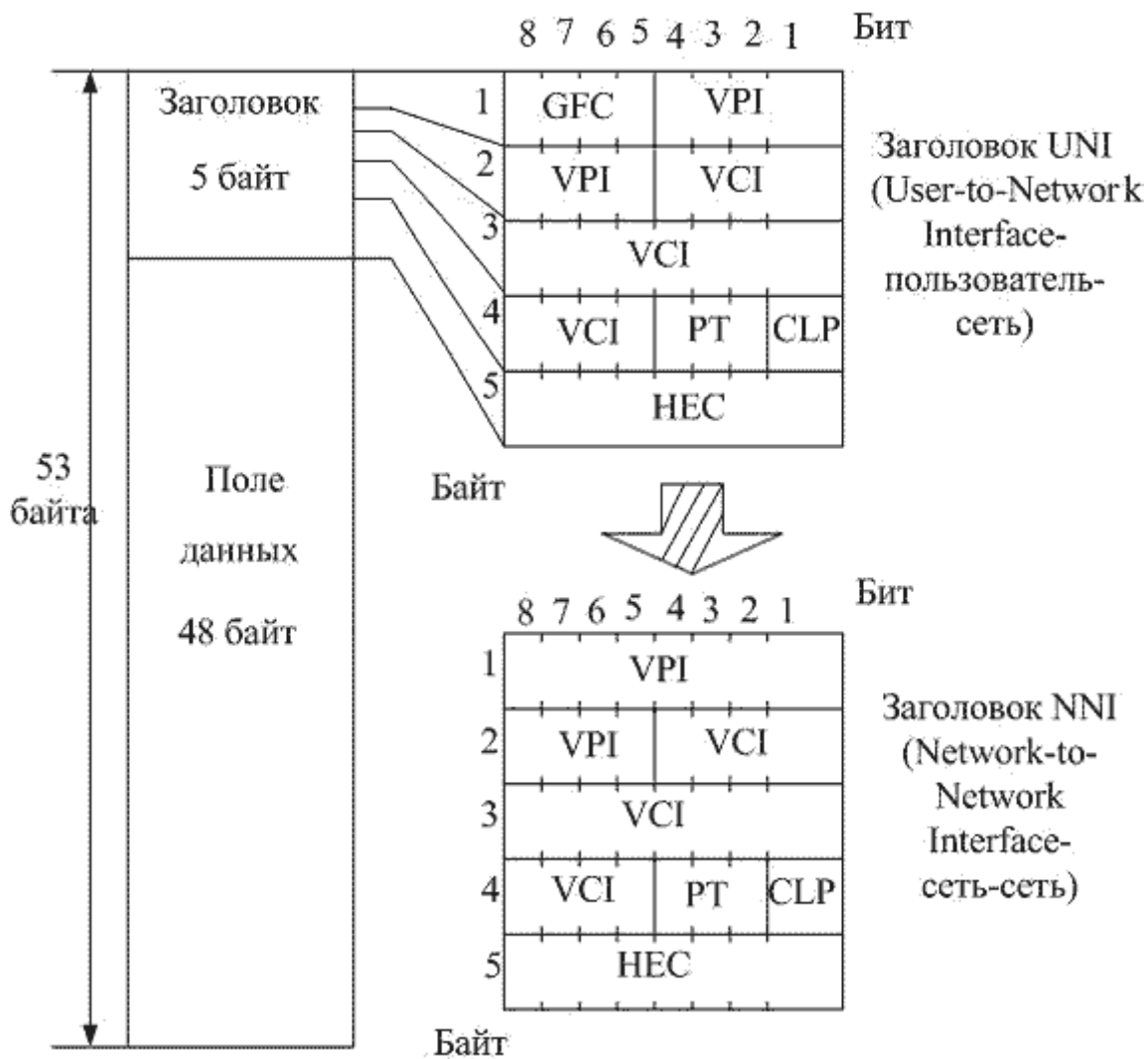


Рисунок 2.16. Ячейки ATM с различными заголовками

*PTI, Payload Type Identifier* – идентификатор типа полезной нагрузки (нагрузка пользователя или сети, наличие или отсутствие перегрузки);

*CLP, Cell Loss Priority* – управление приоритетом потери ячеек;

*HEC, Header Error Control* – контроль ошибок в заголовке (исправление одиночных ошибок, синхронизация приемника ячеек).

Вид ячейки зависит от информации в поле данных (48 байт), получаемой от адаптационного устройства. Различают следующие виды ячеек:

- пустая (свободная) ячейка, выравнивает общий поток ячеек;
- присвоенная (определенная) ячейка, обеспечивает определенные услуги электросвязи по переносу трафика;
- исправная ячейка, имеет заголовок без ошибок в физическом уровне;
- неисправная ячейка, заголовок которой содержит ошибки, которые на физическом уровне не устранены;
- неприсвоенная ячейка, ячейка уровня ATM, которая не присвоена трафику, но имеет значения VPI и VCI;
- ячейка сигнализации, переносит информацию сигнального назначения между уровнями сигнализации;
- ячейка управления, может функционировать отдельно на виртуальный канал и виртуальный путь.



Центром внимания в транспортной сети АТМ выступают виртуальный путь и виртуальный канал.

Виртуальный канал – основное понятие, описывающее однонаправленную передачу ячеек АТМ.

Заголовки каждой ячейки содержат обозначение в идентификаторах VCI и VPI, которые точно определяют, какому виртуальному каналу и виртуальному пути принадлежит ячейка.

Идентификаторы VCI и VPI используются при коммутации. Именно они обеспечивают уникальный, то есть единственный адрес ячейки в сети транспортировки. Каждый участок сети между коммутаторами содержит в памяти таблиц маршрутизации идентификаторы определенных соединений. Ячейки, проходя через коммутаторы, меняют маршруты и, естественно, заголовки. Для каждого соединения виртуального канала маршрутная таблица формируется в среде установления вызова с помощью сигнальной системы или оператором сети.

*Виртуальный путь* – общее понятие, описывающее путь каналов (виртуальных каналов) с теми же самыми окончными пунктами. В отличие от коммутации виртуальных каналов, в узлах, в которых производится коммутация виртуальных путей, значения VCI проходят через узел прозрачно. Виртуальные каналы внутри одного виртуального пути имеют одни и те же VPI.

На рисунке 2.17 представлено для наглядности изображение виртуальных путей и виртуальных каналов.

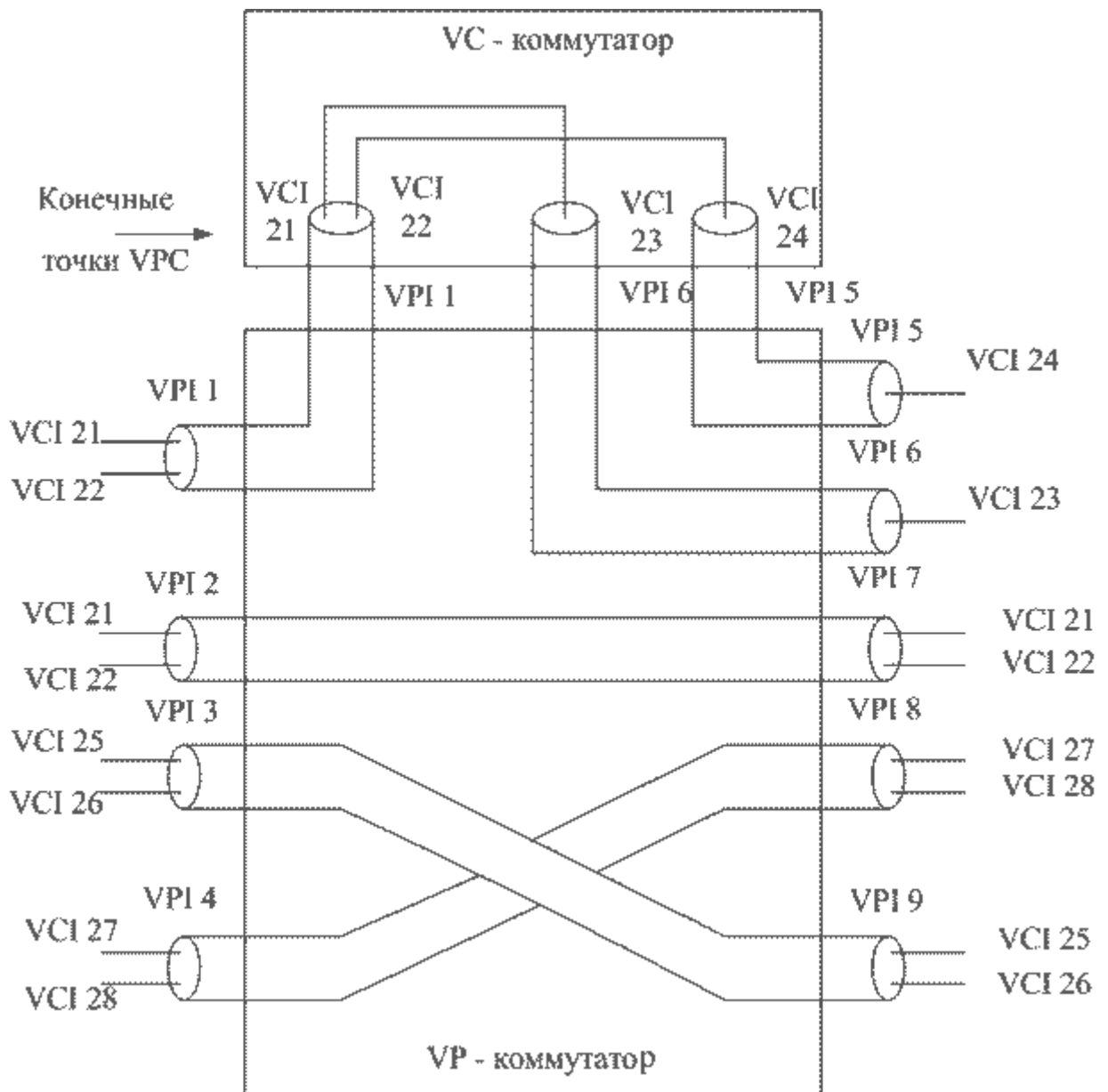


Рисунок 2.17. Представление виртуальных путей и каналов  
 Транспортные сети ATM, построенные на основе виртуальных путей и каналов, могут поддерживать различные конфигурации сетей с различным требуемым числом каналов заданной пропускной способности. Разделение транспортных функций на функции каналов и путей – важная особенность ATM. При установлении соединения из конца в конец, пользователю нужен виртуальный канал. Виртуальные каналы одного пользователя или многих группируются в виртуальные пути. Через сеть соединение коммутируется в нескольких узлах ATM. Некоторые узлы коммутируют виртуальные пути, другие коммутируют пути и каналы.

Общий принцип коммутации ATM показан на рисунке 2.18.

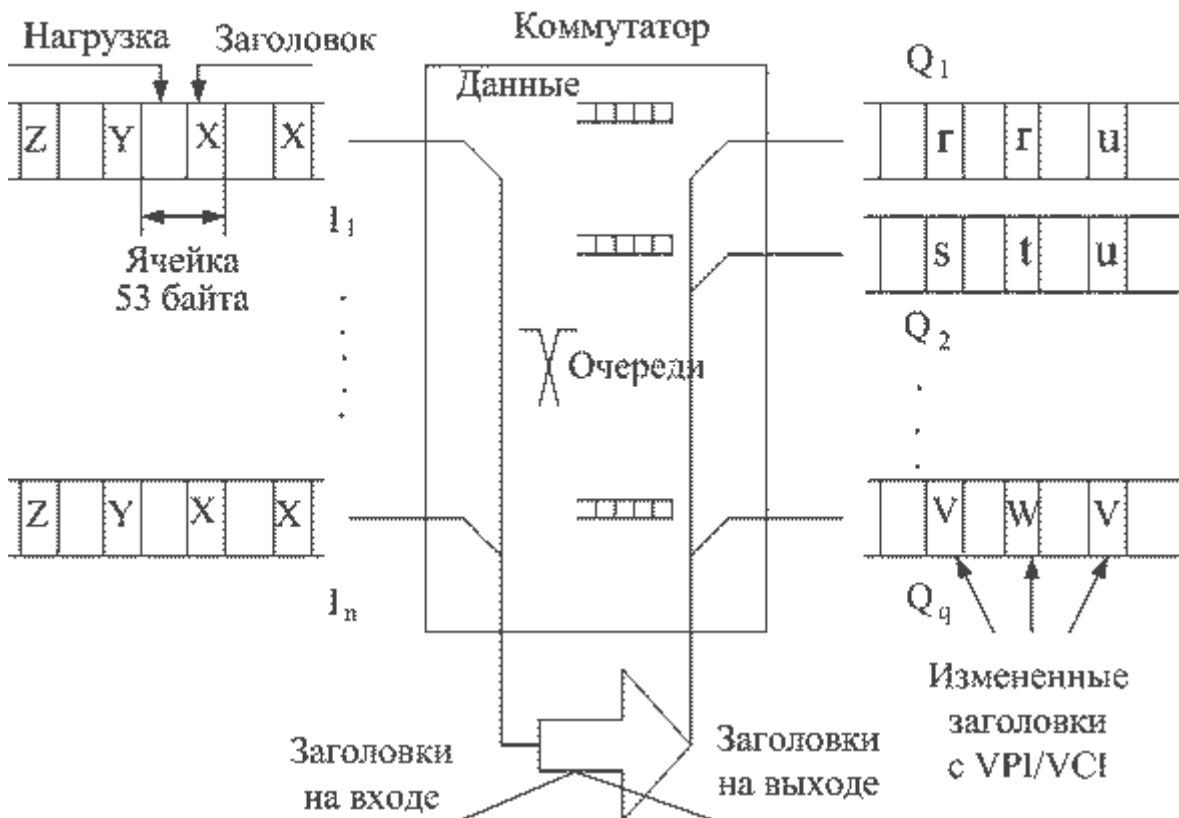
При коммутации каналов и виртуальные пути, и виртуальные каналы заканчиваются в узле, то есть изменяются оба значения VCI и VPI. Если производится коммутация виртуального пути, то в узле заменяются только VPI.

Соединение виртуальных каналов – это последовательность звеньев

виртуального канала между двумя точками, в которых происходит обмен содержания ячеек между уровнями АТМ.

В соединении виртуального пути в оконечных точках меняются значения VPI. При этом оконечные точки не всегда совпадают с точками коммутации каналов.

Виртуальные пути и каналы являются предметом управления. Для этого в каждом канале и пути организуется передача служебных ячеек функций управления (наблюдения за качеством передачи).



Линии ввода	Заголовки	Линии вывода	Заголовки
$I_1$	x y z	$Q_1$ $Q_q$ $Q_2$	r v s
·	·	·	·
·	·	·	·
$I_n$	x y z	$Q_1$ $Q_2$ $Q_q$	u t w

Таблица маршрутизации (трансляции заголовков)

Рисунок 2.18. Общий принцип коммутации в транспортной сети АТМ. При организации управления важнейшими функциями считаются:

- определение перегрузки коммутаторов и образование очередей на коммутацию;
- управление потоком трафика в пути и канале;
- оценка качества передачи информации (по задержкам передачи, по вариациям задержки передачи, по потерянными ячейкам).

### 2.1.3. Модель оптической транспортной сети OTN (Optical Transport Network)

Возможности построения оптических транспортных сетей рассмотрены в фундаментальных рекомендациях ITU-T G.872 "Архитектура оптических транспортных сетей".

Основной целью создания оптических транспортных сетей (OTN) признано резкое увеличение эффективности использования существующих и перспективных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Это создаст предпосылки по удовлетворению спроса на услуги электросвязи на многие годы вперед. При реальной пропускной способности существующих ВОЛС в десятки Тбит/с ( $10^{12}$  бит/с) фактические скорости передачи не превышают 2,5-10 Гбит/с, что обусловлено физическими ограничениями передачи оптических импульсов. Эти ограничения определяются хроматической и поляризационной дисперсиями в одномодовом кабеле. Реальными путями преодоления этого ограничения признаны методы мультиплексирования оптических сигналов с разделением по длине волны, известные как WDM (Wavelength division multiplexing), и передачей оптических солитонов, то есть специальной формы оптических импульсов, которые за счет большой энергии способны преодолевать уширение, вызываемое дисперсией. Принятые рекомендации ITU-T и стандарты ANSI, ETSI отражают точку зрения на построение сетей оптической транспортировки на основе WDM. Все необходимые компоненты для создания сетей WDM в настоящее время разработаны. Эти компоненты образуют уровень среды WDM в модели транспортной оптической сети.

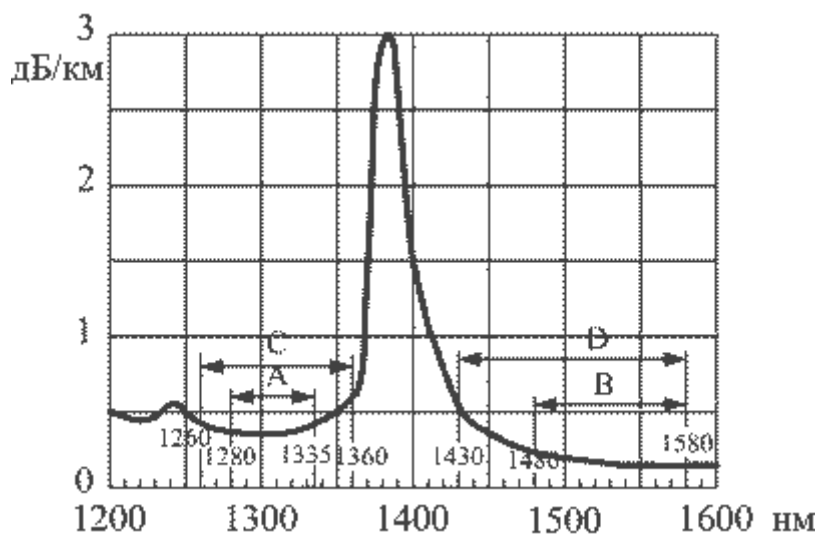


Рисунок 2.19. Характеристика затухания одномодового оптического волокна по рекомендации ITU-T G.957 у которого сглажены выбросы затухания (рисунок 2.20) и определены диапазоны использования (таблица 2.2);

Таблица 2.2. Спектральные диапазоны длин волн ITU-T для одномодовых стекловолокон

Обозначение	Наименование	Диапазон волн, нм
О-диапазон	Основной	1260-1360
Е	Расширенный	1360-1460
S	Коротковолновый	1460-1530
С	Стандартный	1530-1565
L	Длинноволновый	1565-1625
U	Сверхдлинноволновый	1625-1675

Обозначение Наименование Диапазон волн, нм

О-диапазон Основной 1260-1360

Е Расширенный 1360-1460

S Коротковолновый 1460-1530

С Стандартный 1530-1565

L Длинноволновый 1565-1625

U Сверхдлинноволновый 1625-1675

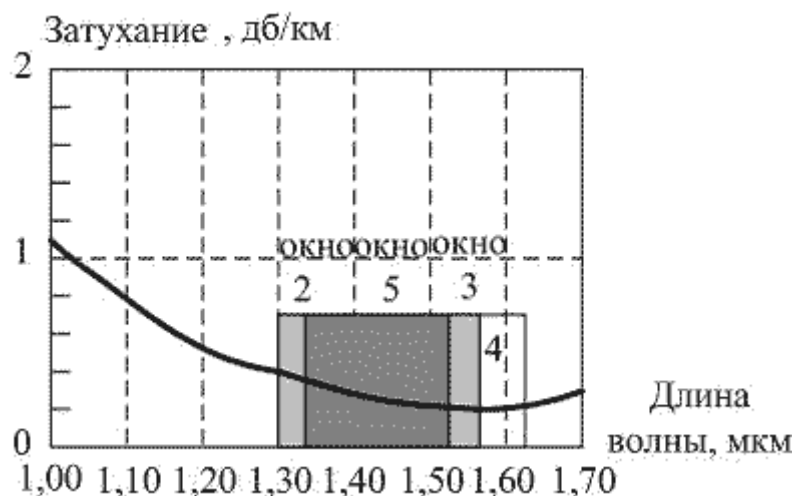


Рисунок 2.20. Характеристики затухания стекловолокна All Wave с обозначением окон прозрачности, которые преобразованы в диапазоны Основными компонентами среды WDM принято считать:

- стекловолоконный световод, используемый в одномодовом режиме в окнах прозрачности стандартных волокон (согласно G.652, G.653, G.654, G.655) 1280-1360 нм и 1430-1580 нм (рисунок 2.19) и волокно типа All Wave,
- указанные стекловолокна соответствуют рекомендациям по величине дисперсии в указанных диапазонах (от 3 до 20 пс / ( нм \* км ));
- оптические усилители (полупроводниковые, эрбиевые, рамановские и другие);
- оптические мультиплексоры и демультиплексоры;
- оптические переключатели и кроссовые коммутаторы;

- оптические регенераторы;
- компенсаторы дисперсионных искажений;
- оптические эквалайзеры;
- оптические фильтры, циркуляторы и многие другие компоненты.

В оптической транспортной сети могут быть образованы оптические тракты, которые используются для загрузки информационными сигналами различного происхождения (PDH: E1, E2, E3, E4; SDH: STM-N, VC-4/VC-3, ячейки АТМ, пакеты IP и так далее). При этом каждый оптический тракт самостоятелен в организации, кроссовых переключениях, обслуживании (рисунок 2.21).

#### Кросс-коммутатор

оптического диапазона

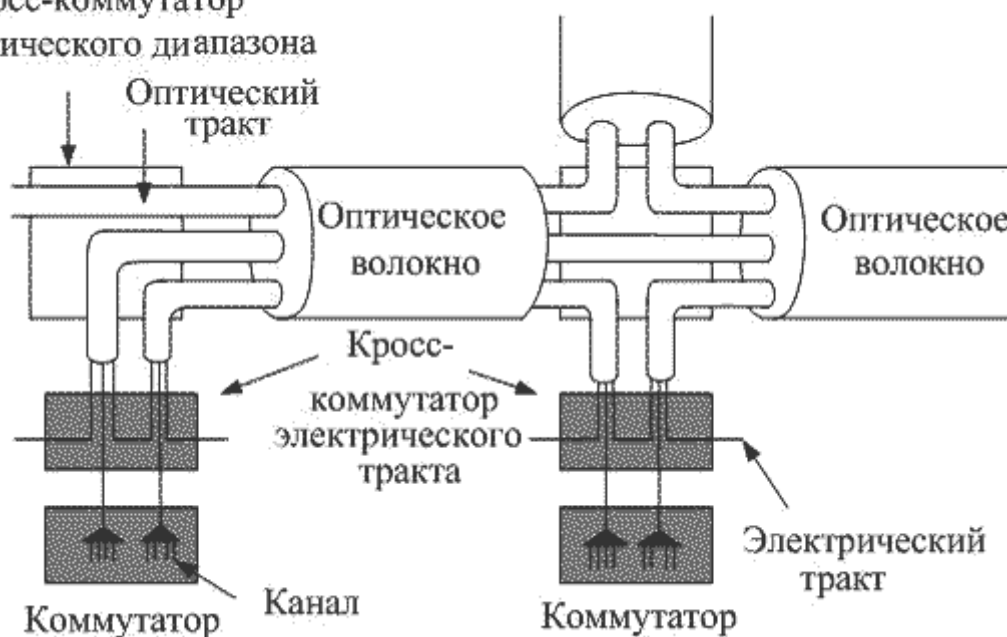


Рисунок 2.21. Электрические и оптические тракты в транспортной оптической сети

Для каждого тракта выделяется отдельная оптическая несущая волна. Распределение волн приведено в рекомендации ITU-T G.692. Частотный интервал между волнами может составлять 1000 ГГц, 600 ГГц, 400 ГГц, 200 ГГц, 100 ГГц, 50 ГГц, 25 ГГц. Оптическая секция мультиплексирования обеспечивает соединение/разделение этих волн. В оптической секции образуется модуль с несущими частотами (n-несущих), который сопровождается сервисным оптическим сигналом. Для обслуживания каждого оптического тракта может быть применен пилот-тон.

На рисунке 2.22 представлен пример организации передачи в одноволновой сети SDH и многоволновой сети WDM.

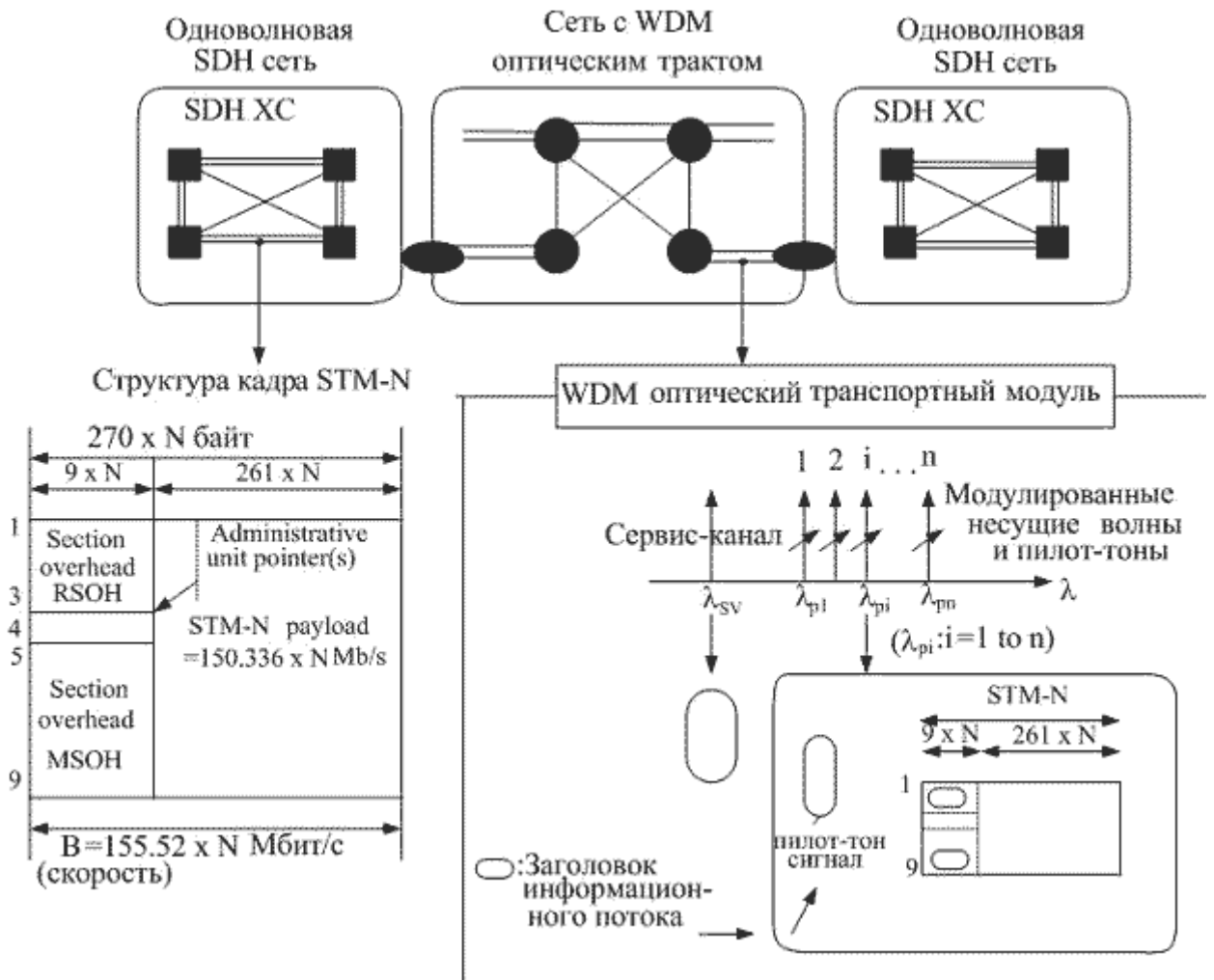


Рисунок 2.22. Пример трансляции передачи одноволновой и многоволновой сети

Оптическая секция ретрансляции – это участок между оптическими усилителями многоволновой сети. Пример конфигурации линейного оптического ретранслятора приведен на рисунке 2.23.

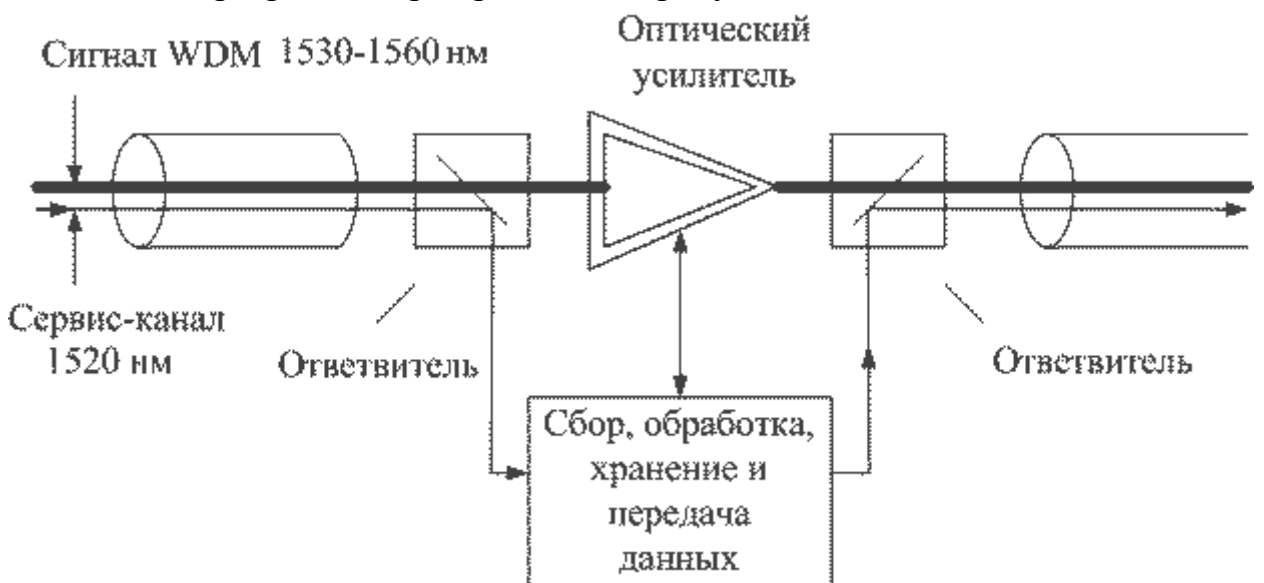


Рисунок 2.23. Оптический ретранслятор

При организации волновых трактов оптической сети возможны две

разновидности трактов: волновой физический тракт и волновой виртуальный тракт (рисунок 2.24).

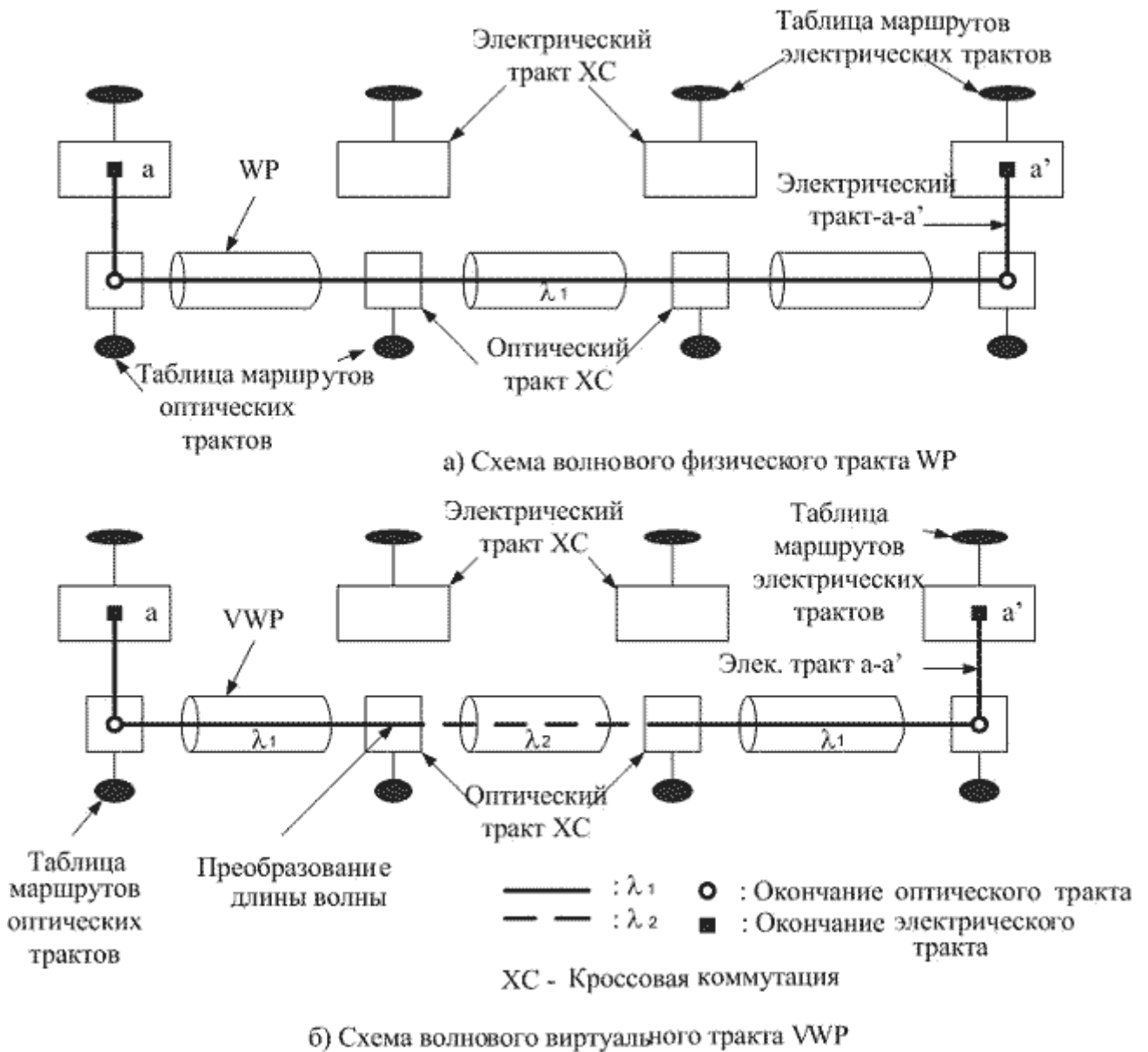


Рисунок 2.24. Варианты волновых трактов  
 На рисунке 2.25 представлены примеры организации сетей с физическими и виртуальными волновыми трактами.



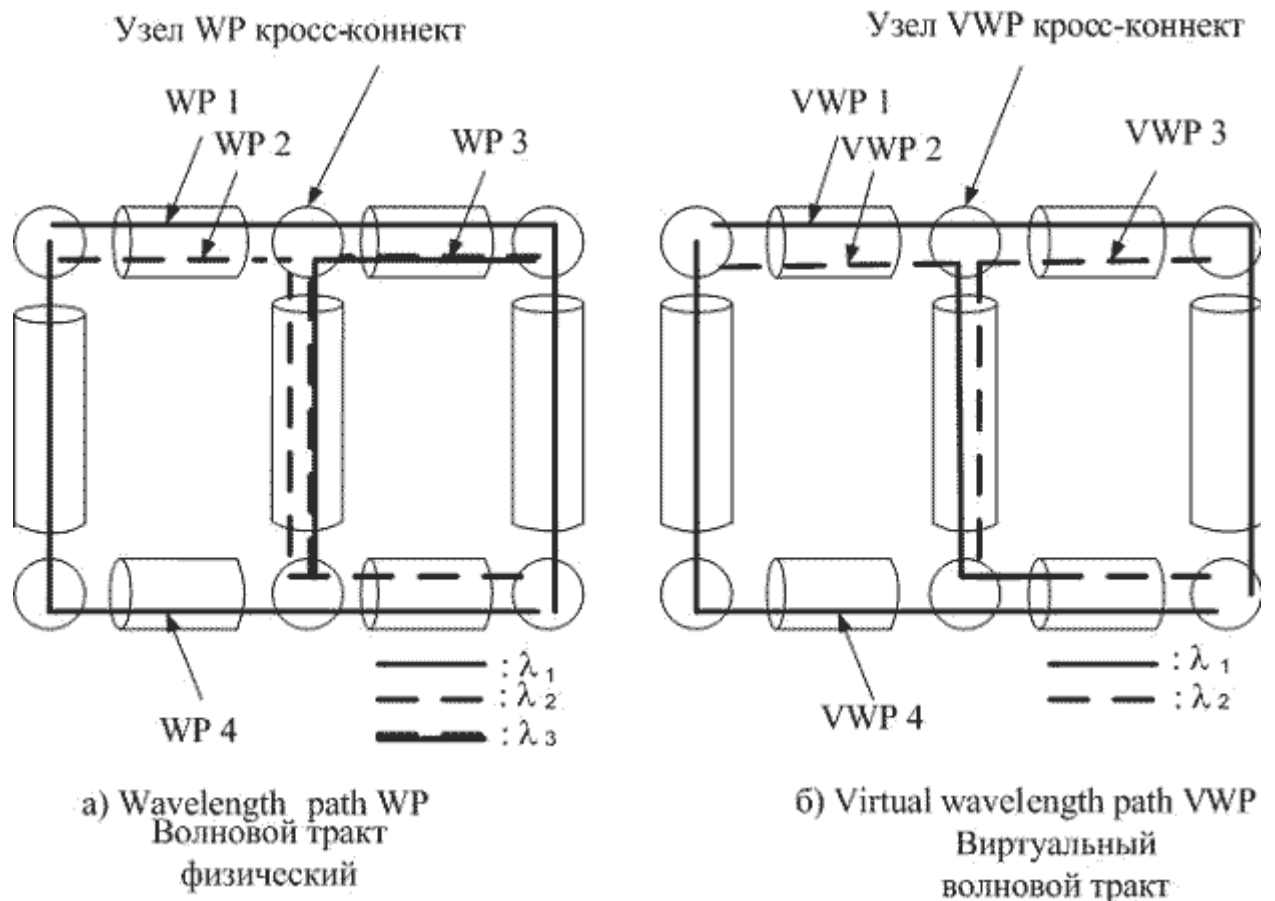


Рисунок 2.25. Примеры организации оптических сетей с различными волновыми трактами

Для преобразования длин волн в узлах оптической сети могут применяться оптические волновые конверторы, в которых нет преобразований оптических сигналов в электрические и транспондеры, которые преобразуют входящие оптические сигналы в электрические и снова в оптические заданной длины волны на выходе.

Узлы кроссовой коммутации могут быть выполнены как на основе быстродействующих оптических коммутаторов, так и с использованием электромеханических, медленных переключателей/маршрутизаторов.

Пример построения узла кроссовой коммутации высокого быстродействия приведен на рисунке 2.26. Каждый кроссовый коммутатор оснащается таблицей маршрутизации волновых трактов.

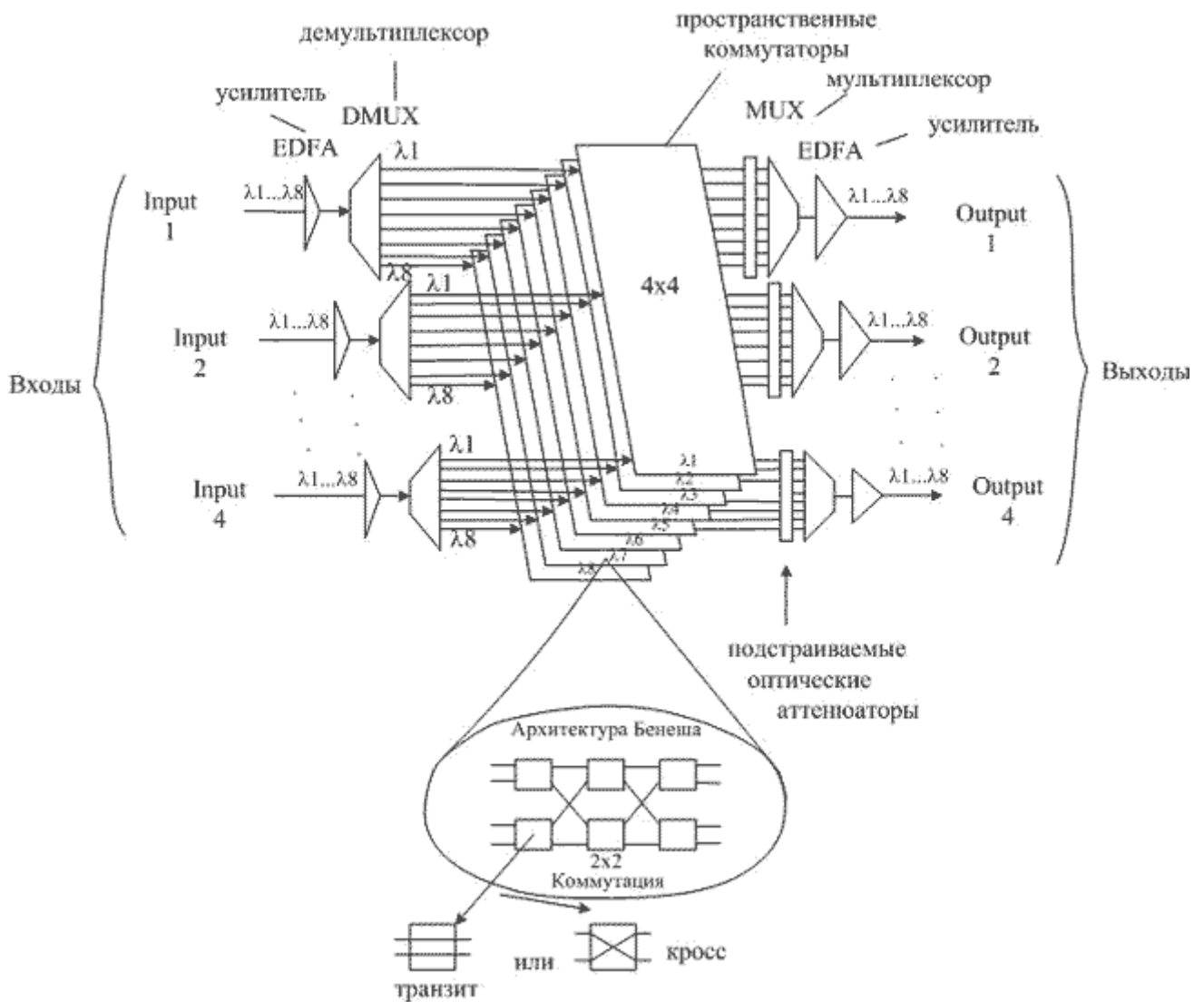


Рисунок 2.26. Кроссовый коммутатор оптической транспортной сети  
 Необходимо отметить, что стандарты на оптические транспортные сети находятся в стадии формирования, доработки и проходят проверку в практике. Поэтому рассмотренные в предлагаемом разделе решения не претендуют на обязательность исполнения.

В завершении нужно подчеркнуть, что оптические транспортные сети позволяют перейти от многоуровневых протокольных решений по транспортировке к двухуровневой схеме “нагрузка-транспортировка”, которая может иметь более простое управление, чем многоуровневая многопротокольная архитектура IP/ATM, SDH, ON.

## 2.2. Сетевые элементы транспортных сетей

Сетевыми элементами в транспортных сетях принято считать:

- электронные регенераторы;
- оптические усилители;
- терминальные электрические и оптические мультиплексоры;
- электрические и оптические мультиплексоры ввода/вывода;
- электрические и оптические кроссовые коммутаторы;
- коммутаторы виртуальных путей и виртуальных каналов асинхронного режима передачи;

- оптические маршрутизаторы
- и так далее.

Для четкого определения функций сетевых элементов ИТУ-Т разработал общие функциональные модели оборудования PDH, SDH, ATM, WDM, что принято во внимание разработчиками аппаратуры сетей и в основном соблюдается при реализации изделий. По этой причине рассмотрим краткое представление общих функций оборудования PDH, SDH, ATM

### 2.2.1. Функциональное описание оборудования гибких мультиплексоров PDH

Под гибким мультиплексором принято понимать средство для реализации многих возможностей телекоммуникаций: услуг для пользователей путем выбора подходящего набора интерфейсов и подключения к ним пользовательских терминалов; линейного обслуживания путем выбора подходящего интерфейса для соединительной линии на основе электрического или оптического кабеля или радиорелейного канала; централизованного управления; гарантированного резервирования; быстрого изменения функций и так далее.

Реализация этих возможностей обеспечивается в шинной архитектуре оборудования гибкого мультиплексора (рисунок 2.27).

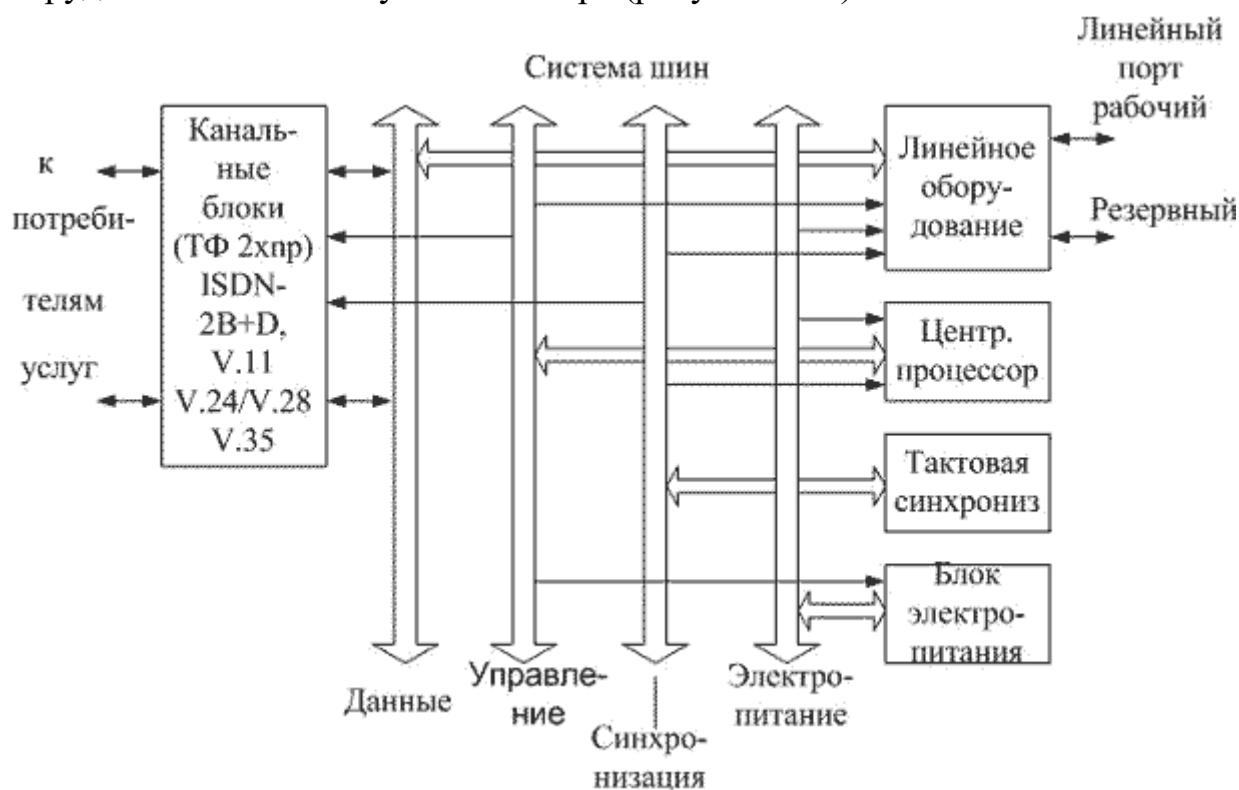


Рисунок 2.27. Архитектура гибкого мультиплексора

Благодаря системе шин (данных, управления, синхронизации и электропитания) может быть реализован принцип программной взаимосвязи отдельных блоков. Программа работы мультиплексора помещена в центральный процессор, который упорядочивает все процедуры формирования циклов передачи, разделения циклов приема, формирования канальных сигналов и другое.

На рисунке 2.28 показано функциональное представление гибкого мультиплексора и размещение соответствующих эталонных точек, которые можно классифицировать как интерфейсы.

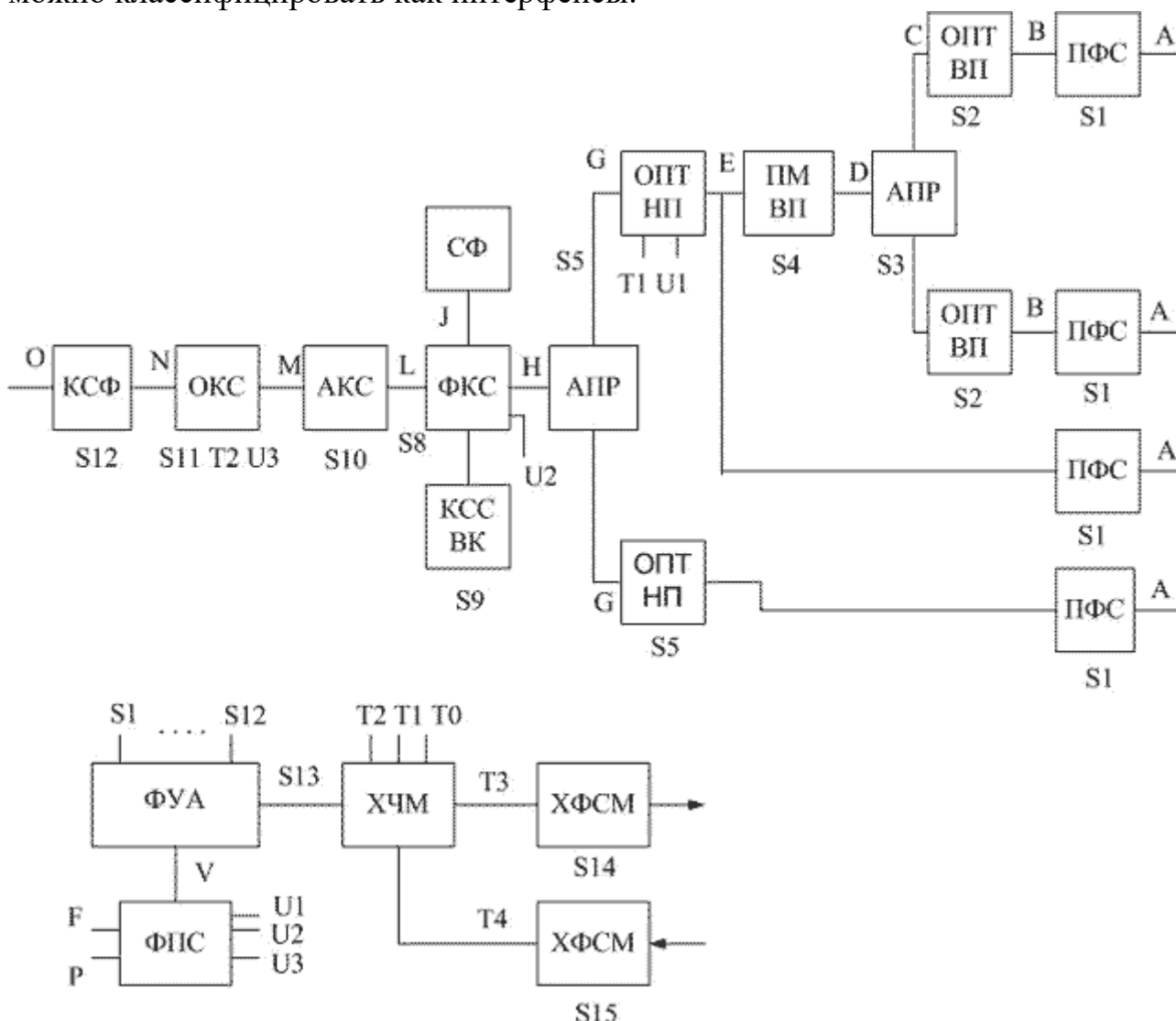


Рисунок 2.28. Общая функциональная блок-схема гибкого мультиплексора  
 Плезиохронный физический стык (ПФС) относится к агрегатному стыку, представляющему собой окончание соответствующей системы передачи (ИКМ-30, ИКМ-480 с оптическим или электрическим окончанием и регенерацией сигнала на приеме). Он также выделяет хранирующий сигнал из принятого сигнала, когда это необходимо.

Компонентный физический стык (КФС) относится к компонентному или пользовательскому окончанию канала. Он также выделяет хранирующий сигнал из принимаемого сигнала и обслуживает на сигналы управления/сигнализации при необходимости.

Окончание плезиохронного тракта высшего порядка (ОРТ ВП) завершает логические сигналы агрегатного стыка 8.448, 34.368 и 139.264 Мбит/с. В окончании генерируется и восстанавливается соответствующий цикл, обнаруживается состояние сигнала (авария в цикле, пропадание сигнала, контроль ошибок передачи).

Автоматическое переключение на резерв (АПР) используется в том случае,

когда для цифрового тракта требуется схема переключения на резерв типа 1+1. Эта функция может выполняться под управлением или автоматически. Плезиохронный мультиплексор высшего порядка (ПМВП) выполняет функции мультиплексирования/демультиплексирования сигналов по схеме (рисунок 2.29).

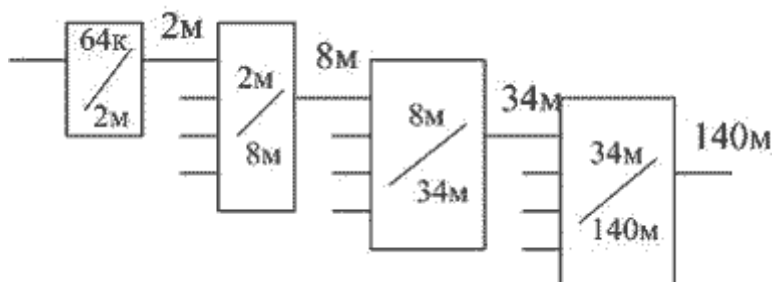


Рисунок 2.29. Ступени мультиплексирования сигналов PDH

Окончание плезиохронного тракта низшего порядка (ОПТНП) завершает логические сигналы 2048 кбит/с на агрегатной стороне аппаратуры.

Соответствующие функции относятся к генерации и восстановлению цикла и обнаружению состояний аварии или повреждения (контроля ошибок).

Функция кроссового соединения (ФКС) позволяет осуществить преобразование сигналов 64 кбит/с или  $n \cdot 64$  кбит/с от компонентной стороны в соответствующий логический сигнал 2048 кбит/с с цикловой структурой, приведенной на рисунке 2.30.

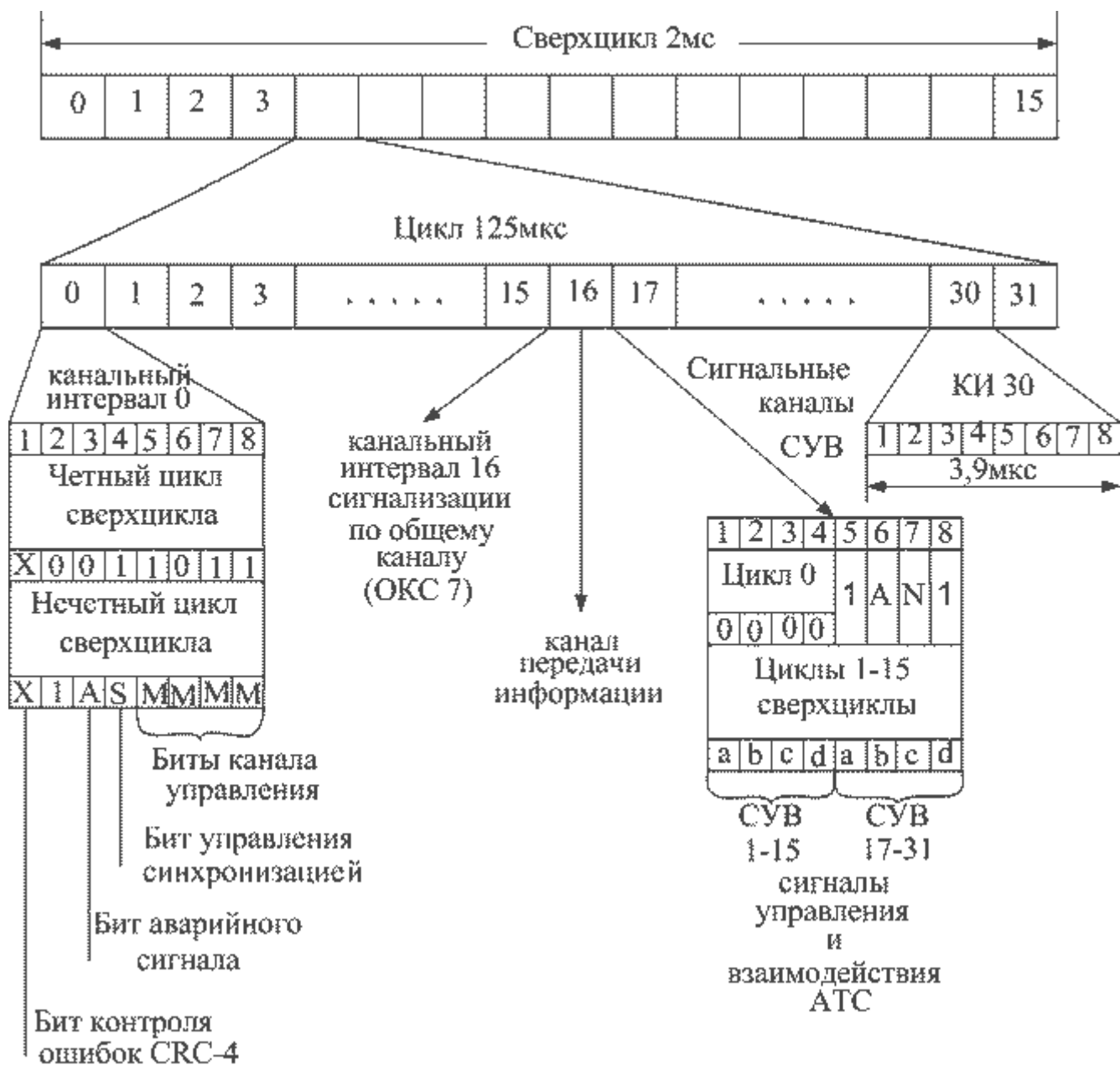


Рисунок 2.30. Структура цикла 2048 кбит/с

Адаптация компонентного сигнала (АКС) изменяет компонентный сигнал, когда необходимо иметь возможность обрабатывать его в формате цикла 2048 кбит/с.

Окончание компонентного сигнала (ОКС) генерирует или завершает информацию и любой сигнал сигнализации и управления.

Хронирующий физический стык мультиплексора (ХФСМ) электрически завершает (или генерирует) внешний синхросигнал.

Хронирующий источник мультиплексора (ХИМ) обеспечивает все внутренние хронизирующие сигналы, необходимые для гибкого мультиплексора.

Функция управления аппаратурой (ФУА) позволяет местному пользователю или сети управления (ТМН) выполнить все функции управления аппаратурой. Она подключается к каждому функциональному блоку гибкого мультиплексора.

Функции передачи сообщений (ФПС) формируют или завершают встроенный операционный канал или каналы управления, который может транслировать на битах нулевого канального интервала и на других позициях команды управления. Этот блок может взаимодействовать с местным пользователем через стыки F или P (F – компьютерный интерфейс, например, RS-232; P – ручной терминал).

Специальная функция (СФ) включает режимы: точка - много точек; перекодирование ИКМ – АД ИКМ; конференционная связь; циркулярная связь и так далее.

Кроссовое соединение сигнализации по выделенным каналам (КСС ВК) в 16 канальном интервале для битов a, b, c, d в соответствующие КИ 64 кбит/с.

Назначение эталонных точек схемы гибкого мультиплексора:

A-линейные сигналы согласно рекомендации G.703;

B-логический сигнал высокого порядка (8.448, 34.368, 139.264 Мбит/с);

C, D-логический сигнал высокого порядка с цикловой структурой G.704, G.751;

E-многосервисный логический сигнал 2048 кбит/с;

E' -односервисный логический сигнал 2048 кбит/с;

G, H-логический сигнал 2048 кбит/с с цикловой структурой G.704;

J-доступ к специальным функциям;

K-доступ к необязательному кроссовому соединению;

L-сигнал 64 кбит/с или  $n \cdot 64$  кбит/с;

M-логический и/или электрический сигнал, подлежащий передаче;

N-логический и/или электрический сигнал, подлежащий передаче;

O-компонентный линейный сигнал;

V-информация обслуживания для внешнего управления;

Si-управляющие токи;

T0-внутренний хронизирующий сигнал;

T1-сигнал синхронизации, выделенный из агрегатного сигнала 2,048 Мбит/с;

T2-сигнал синхронизации, выделенный из компонентного сигнала 2,048 Мбит/с;

T3/T4-внешний синхросигнал 2,048 МГц (выход/вход);

U1, U3-канал управления 4 кбит/с;

U2-канал управления 64 кбит/с;

F, P-стыки управления (F по рекомендации M.3010, P- нет стандарта).

Исполнение гибкого мультиплексора как сетевого элемента может представлять собой:

- терминальный мультиплексор;
- мультиплексор ввода/вывода (промежуточный);
- кроссовый коммутатор.

### **2.2.2. Функциональное описание оборудования SDH**

Подробное описание функций оборудования SDH приведено в рекомендациях ITU-T G.783. Ниже приведено сокращенное описание этих функций, и рассматриваются примеры взаимосвязи общего описания и конкретного исполнения оборудования. Общая функциональная блок-схема

приведена на рисунке 2.31.

В центре схемы выделены функциональные модули:

TTF, transport terminal function – функции транспортного терминала;

HCS, higher order connection supervision – контроль соединения трактов высшего порядка;

HOA, higher order assembler – сборка структур высокого порядка;

HOI, higher order interface – интерфейс тракта высшего порядка;

LCS, lower order connection supervision – контроль соединения трактов низшего порядка;

LOI, lower order interface – интерфейс низшего порядка;

HPC, higher order path connection – подключение трактов высшего порядка (кроссовая коммутация);

LPC, lower order path connection – подключение трактов низшего порядка (кроссовая коммутация).

Все эти модули обеспечивают реализацию функций транспортной сети SDH.

Кроме того, в схему входят блоки вспомогательного оборудования:

MCF, message communication function – функции передачи сообщений (для сети управления);

SEMF, synchronous equipment management function – функции управления синхронной аппаратуры;

SETPI, synchronous equipment physical interface – физический интерфейс хронирования синхронной аппаратуры;

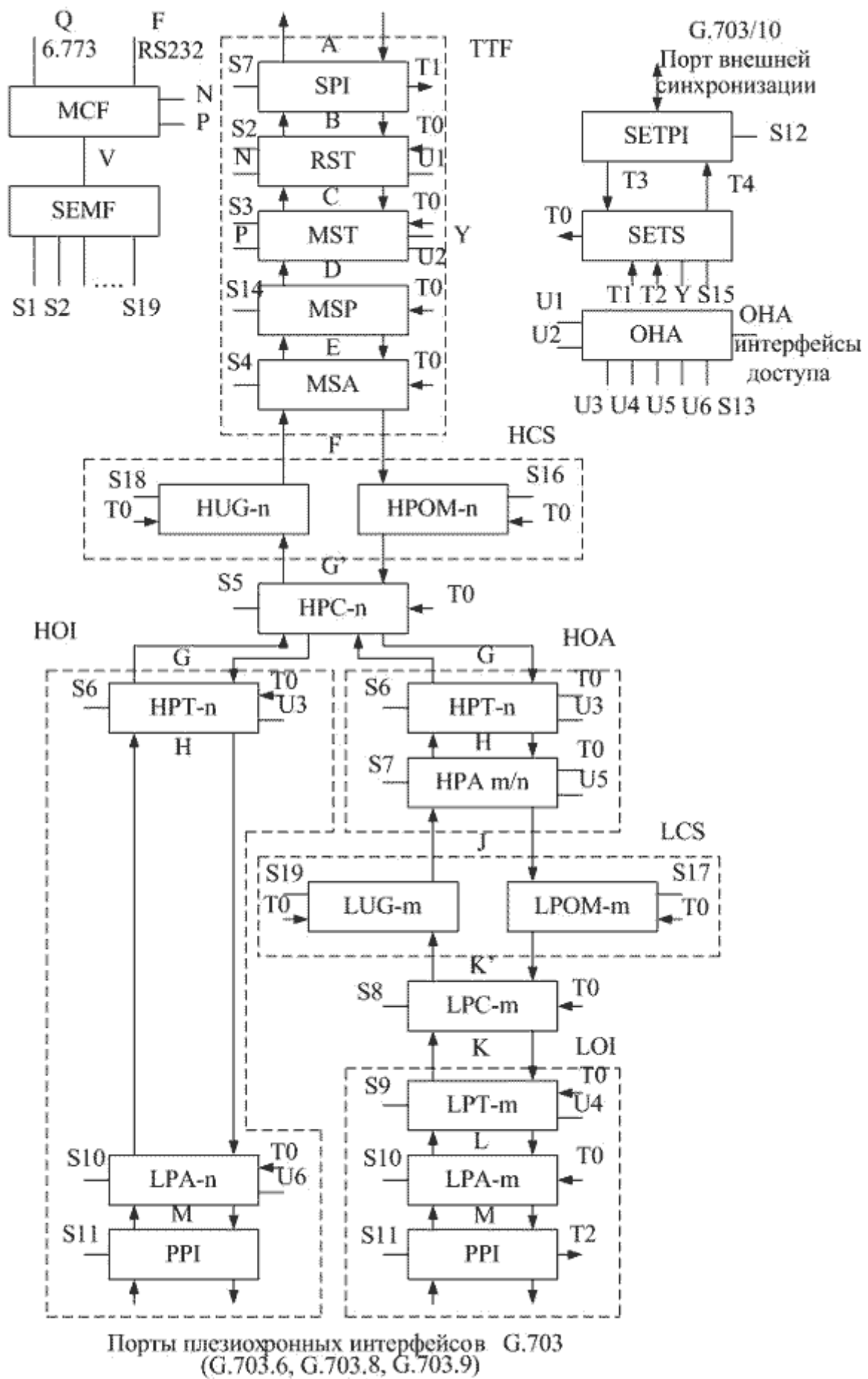
SETS, synchronous equipment timing source – источник тактирования синхронной аппаратуры;

OHA, over head access function – функции доступа к заголовкам.



G.957

Порт линейного интерфейса



### Рисунок 2.31. Общая структура аппаратуры SDH

Все функциональные модули состоят из функциональных блоков, в которых реализуются определенные функции. Между блоками в модулях и между модулями предусмотрены эталонные точки взаимодействия (интерфейсы). Ряд таких точек определен отдельными рекомендациями и стандартами.

К ним относятся:

- линейный (агрегатный) интерфейс в точке А, G.957;
- компонентные интерфейсы плездохронных стыков, G.703;
- интерфейсы синхронизации, G.703/10;
- интерфейсы управления Q и F, соответственно, G.773 и RS232.

#### Функции транспортного терминала (ТТФ)

ТТФ обеспечивает реализацию функций физического уровня модели транспортной сети SDH через свои функциональные блоки:

SPI, SDH physical interface – физический интерфейс SDH;

RST, regenerator section termination – окончание секции регенерации;

MST, multiplex section termination – окончание секции мультиплексирования;

MSP, multiplex section protection – защита секции мультиплексирования;

MSA, multiplex section adaptation – адаптация секции мультиплексирования.

Физический интерфейс SPI преобразует электрический сигнал STM-N в оптический сигнал на передаче. На приеме в SPI происходит преобразование оптического сигнала в электрический сигнал с последующей регенерацией и выделением тактовой частоты. Хронирующая частота через линию T1 передается в SETS, где может быть использована для синхронизации встроенного тактового генератора. Линия S1 позволяет SEMF контролировать функцию SPI. Оборудование SPI определено в рекомендации G.957.

В блоке окончания секции регенерации RST на передаче формируется линейный сигнал STM-N, который укомплектовывается заголовком секции регенерации RSOH, скремблируется и последовательно по битам транслируется в SPI. В приемной части RST происходит расформирование RSOH, контролируются ошибки передачи, дескремблирование. Линией N обеспечивается трансляция информации управления от и к MCF (байты D1-D3). Линия U1 служит для организации передачи служебных сигналов от и к ОНА (байты E1, F1). Линия S2 позволяет контролировать функции RST.

Блок окончания секции мультиплексирования MST обеспечивает комплектование MSOH на передаче и распаковку на приеме. В нем происходит контроль ошибок передачи в секции мультиплексирования, управление автоматическим переключением на резервную секцию, передача данных сети управления (байты D4-D12) через линию P к и от MCF, служебная связь (байт E2) через линии U2 к и от ОНА, управление синхронизацией (байт S1) по линии Y от и к SETS, сообщение об ошибках, имеющих место на удаленной стороне секции. Через линию S3 в MST контролируются его функции оборудованием управления SEMF.

В блоке защиты MSP могут производиться процедуры переключения на резервную секцию, что возможно автоматически (через байты K1, K2 в

MSON) или принудительно через линию управления S14.

В блоке адаптации секции MSA происходит сборка STM-N из AU-4, AUG, передающей части. В приемной части производится обратная процедура. При формировании AU-4 создается указатель начала размещения VC4 в AU-4. По этому указателю в приемной стороне выгружаются данные VC3/4 с восстановлением тактовой частоты. Функции MSA контролируются через линию S4. Через линию T0 происходит синхронизация процедур обработки данных в блоках RST, MST, MSP, MSA. В составе оборудования SDH модуль TTF обычно представлен отдельным устройством с оптическими разъемами. Функции контроля соединения трактов высшего порядка (HCS) обеспечивают контроль оборудованных и необорудованных трактов VC3/4. Для этого в составе модуля предусмотрены блоки:

- генератора необорудованных трактов высшего порядка HUG-n (higher order unequipped generator);
- монитора трактов высшего порядка HPOM-n (higher order Path Overhead Monitor).

HUG-n может воспроизводить для части или для 100% трактов верхнего порядка контейнеры VC3/4 с заголовками, по которым HPOM-n может отслеживать качество необорудованных трактов. Кроме того, HPOM-n позволяет контролировать частично или на 100% все оборудованные тракты с VC3/4. Предметом контроля может быть коэффициент ошибок, отдельно контролируемых в трактах, проходящих через сети различных операторов. Через линии S16, S18 производится необходимое управление и контроль функций HCS.

Кроссовый коммутатор (HPC) реализует функции распределения контейнеров высшего порядка. Функции HPC определяют возможности мультиплексора SDH (терминальный, ввода/вывода, кроссовый коммутатор). Функции HPC могут быть фиктивными, то есть не обеспечивать переключений, и могут быть развитыми, то есть гарантировать необходимые переключения трактов: образовывать шлейф; образовывать соединения “точка – точка” и “точка – много точек”; формировать доступ к отдельным трактам; резервировать тракты. Через линию S5 возможны передачи следующих сообщений: установить матрицу соединений; запросить отчет матрицы; передать отчет матрицы. Синхронизация HPC происходит по линии T0.

В состав оборудования SDH HPC входит, как правило, в виде отдельного устройства.

Модуль функций сборки структур высокого порядка (НОА) состоит из двух функциональных блоков:

- НРТ-n, higher order path termination – окончания тракта высшего порядка;
- НРА-m/n, higher order path adaptation – адаптация тракта высшего порядка.

НРТ действует как источник и приемник заголовка тракта высшего порядка РОН VC3/VC4.

Тракт высшего порядка представляет собой объект технического обслуживания между двумя окончаниями.

В НРА происходит формирование структур С3/С4 из структур TU-12 через ступени TUG-2, TUG-3. Функции НРА определяют обработку указателя транспортного блока TU-12. Они подразделяются на генерирование указателя, интерпретацию указателя, подстройку частоты. С помощью интерпретатора указателя могут быть обнаружены два состояния повреждения: потеря указателя (LOP) и аварийное состояние тракта TU (AIS). Через линии S6, S7 функции НРА контролируются SEMF.

Функции модулей LCS и LPC аналогичны соответствующим функциям модулей HCS и HPC, однако применяются к трактам нижнего порядка, образованным контейнерами VC-12.

Функции интерфейсов нижнего порядка (LOI) и верхнего порядка (HOI) реализуются в функциональных блоках:

- N/LPT n/m, higher/lower order path termination – окончания тракта нижнего порядка/верхнего порядка/;
- LPA-m, lower order path adaptation – адаптация тракта низшего порядка;
- PPI, plesiochronous physical interface – плезиохронный физический интерфейс.

Функции LPT аналогичны функциям НРТ, только для тракта нижнего порядка заголовок РОН имеет четырехбайтовое поле. Функция LPT создает контейнер VC-12 путем генерирования РОН и добавления его к контейнеру С-12. В другом направлении передачи эта функция завершает и обрабатывает заголовок РОН в целях определения состояния тракта.

Функция LPA действует в порту доступа к синхронной сети и адаптирует данные пользователя к транспортировке в синхронной области. Для асинхронных данных пользователя адаптация тракта нижнего порядка включает цифровое выравнивание (для Е1, Е3 цифровое выравнивание двухстороннее, для Е4 цифровое выравнивание одностороннее (положительное)). Функция LPA-n (в модуле HOI) непосредственно размещает сигналы, соответствующие рекомендации G.703, в контейнеры верхнего порядка С3 или С4. Функция LPA-m (в модуле LOI) размещает сигналы, соответствующие рекомендации G.703, в контейнеры нижнего порядка С12.

Данные в контейнеры С12 могут размещаться синхронно по битам, синхронно по байтам, фиксировано, асинхронно.

Данные в контейнеры VC3/4 могут размещаться асинхронно, однако существует возможность размещения данных синхронно по байтам, предусмотренная рекомендацией G.832. При выгрузке данных из контейнера LPA обеспечивает восстановление тактового синхронизма.

Функция PPI обеспечивает стык между мультиплексором и физической средой, несущей компонентный (первичный) сигнал. Стык PPI определен рекомендацией G.703. Функцией PPI предусмотрено выделение хронизирующего сигнала из компонентного сигнала и регенерация данных. Хронизирующий сигнал по линии T2 может быть направлен в SETS. Через

линии S9, S10, S11 происходит контроль функций LOI/HOI.

Функции доступа к заголовкам ОНА необходимы для организации служебного обмена информации на уровне секций и на уровне трактов. Для этого предусмотрены в функциональной схеме связи U1, U2...U6. Через эти связи обеспечивается доступ к отдельным байтам и битам заголовков SOH, POH. Например, для организации служебной связи в секциях регенерации и мультиплексирования предусмотрены байты E1 и E2 соответственно. Доступ к ним обеспечивается линиями U1 и U2..

Функция управления синхронной аппаратуры (SEMF) обеспечивает средства, с помощью которых сетевой элемент SDH (мультиплексор, регенератор, кроссовый коммутатор) управляется внутренним или внешним администратором – программой. Если SEMF содержит внутренний администратор (менеджер управления – программный модуль), то последний является частью функций SEMF. Функция SEMF взаимодействует с другими функциональными блоками путем обмена информацией через линии Sn.

В SEMF находятся информационные фильтры, которые обеспечивают механизм уменьшения объема данных в информации, принятой через Sn. В SEMF размещается агент управления (программный модуль взаимодействия с менеджером), который имеет доступ к информационным фильтрам через управляемые объекты. Управляемые объекты представляют собой схематические виды ресурсов (каналов, трактов, секций, оборудования, аварий и так далее), которые управляются или могут существовать для обеспечения определенных функций управления, например, препровождения события или его регистрации. Управляемые объекты группируются в классы. Местом хранения информации управления является информационная база в долговременной физической памяти, например, на жестком диске.

Управляемые объекты обеспечивают обработку события и хранение, а также единообразное представление этой информации. Агент преобразует указанную информацию в сообщения менеджеру и реагирует на сообщения менеджеров, выполняющих соответствующие операции по управлению. Для взаимодействия в системе “менеджер-агент” предусмотрен блок MCF с интерфейсами встроенной (линии P, N) передачи, взаимодействия с местным терминалом управления (F) и взаимодействия с сетью управления (Qx).

Функции MCF оснащены стандартными протокольными блоками передачи данных по семиуровневой модели ISO/OSI или по модели TCP/IP SNMP.

Функция хронизирующего источника мультиплексора (SETS) представляет генератор сетевого элемента SDH. Функция SETS включает внутренний генератор-осциллятор и хронизирующий генератор мультиплексора. Источник синхронизации может быть выбран среди одной из хронизирующих линий T1, T2, T3 или внутреннего осциллятора. Хронизирующий генератор мультиплексора фильтрует выбранный источник для выполнения требований по стабильности частоты. Он способен удерживать стабильность частоты некоторое время в случае исчезновения внешних хронизирующих эталонов (режим holdover). SETS может не только синхронизироваться по указанным линиям, но и быть источником синхросигнала для аппаратуры узла или сети

через линию T4 и интерфейс синхронизации SETPI. Характеристики SETPI определены рекомендацией G.703/10 для синхросигналов на частоте 2048 кГц.

SETS и SETPI контролируются и управляются через линии S12, S15.

Пример взаимосвязи описания функций оборудования SDH и физических блоков оборудования приведен на рисунках 2.32, 2.33, 2.34.

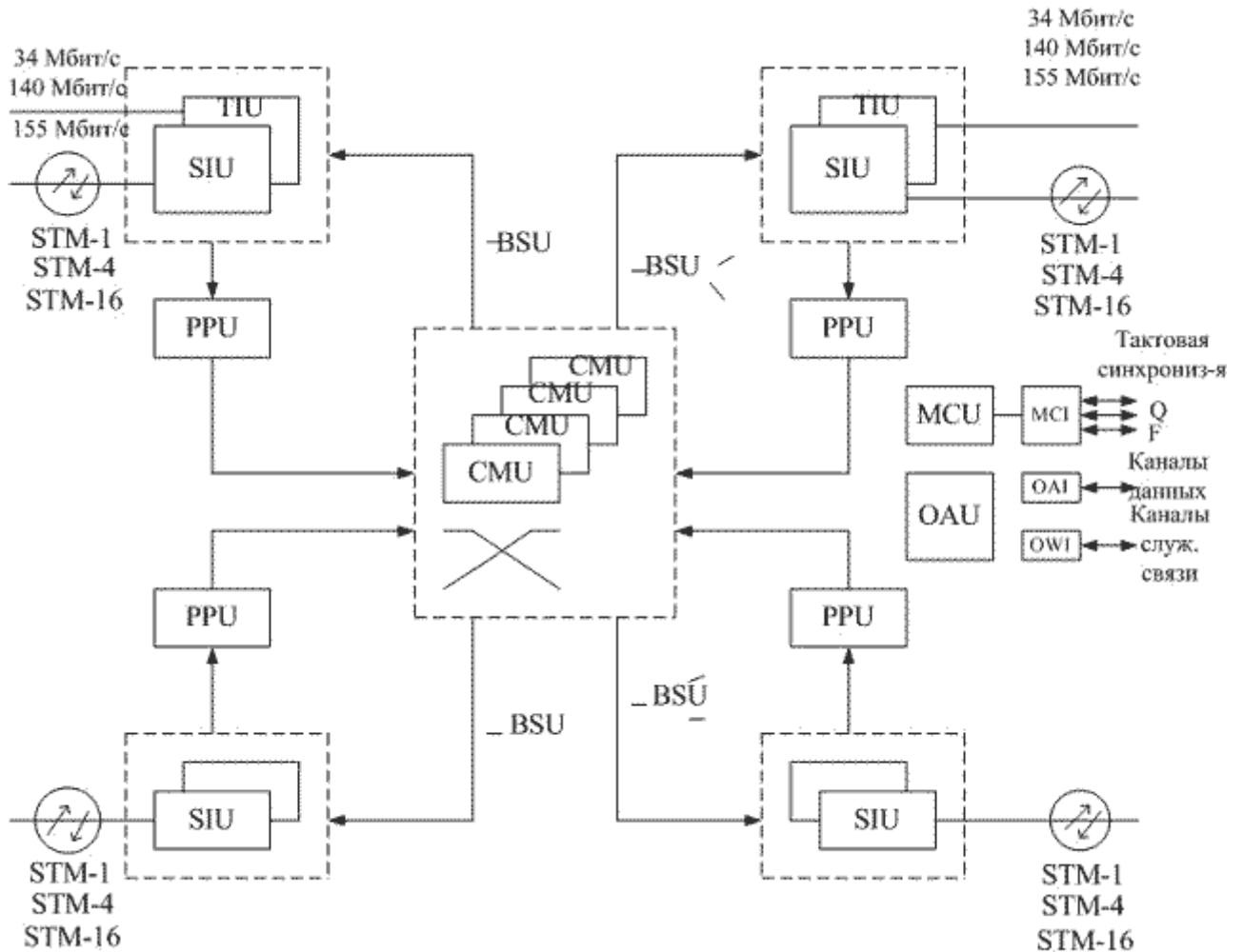


Рисунок 2.32. Пример блок-схемы кроссового коммутатора LXC -16/1

SIU	TIU-4	TCI-4
	TIU-4	TCI-4
	TIU-4	TCI-4
	TIU-4	TCI-4
PPU	PPU	BSU
PPU заш.		BSU
	MCU	MCI
	CMU	BSU
		BSU
		резерв
		BSU
		BSU
	OAU	OAI
PPU	PPU	OWI
PPU резерв		BSU
	TIU-4	TCI-4
	TIU-4	TCI-4
SIU	TIU-4	TCI-4
	TIU-4	TCI-4

Рисунок 2.33. Пример варианта комплектации LXC – 16/1

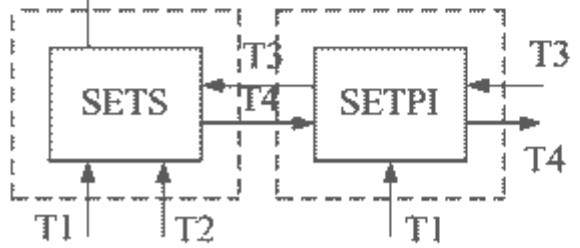
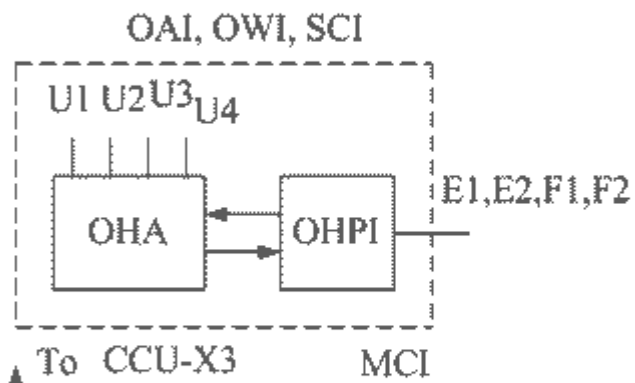
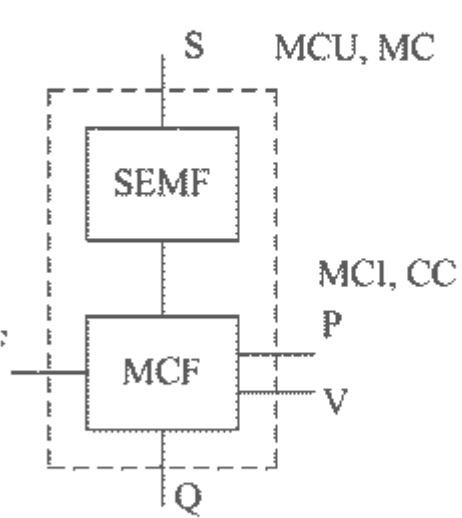
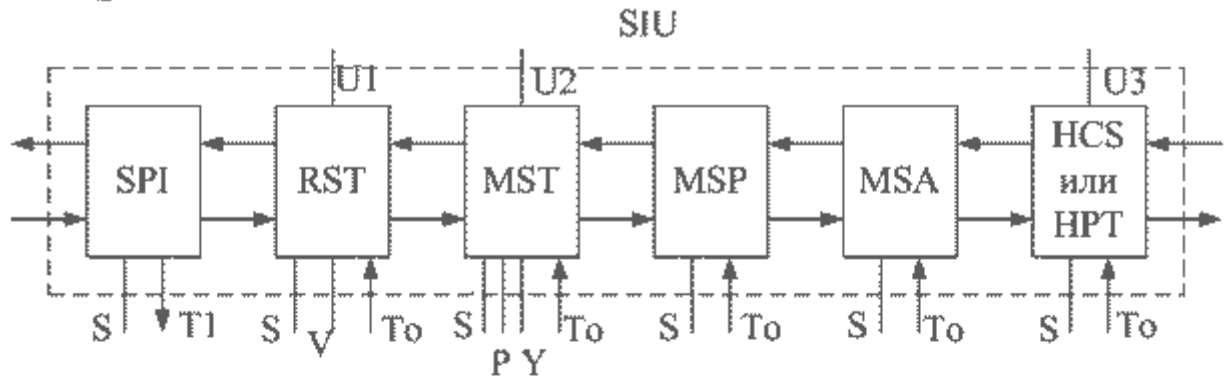
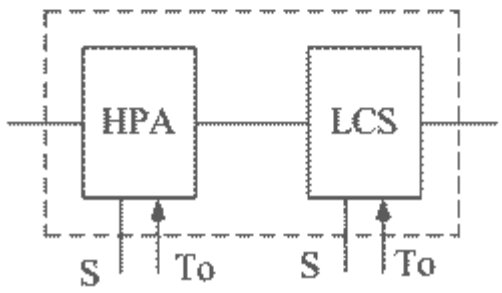
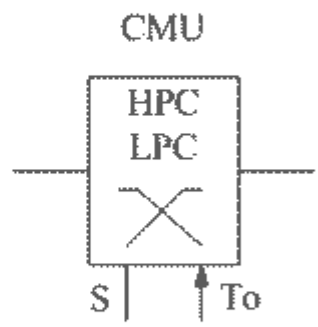
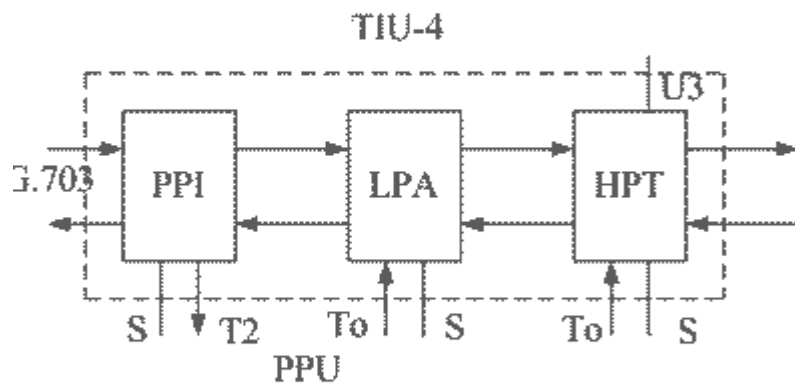
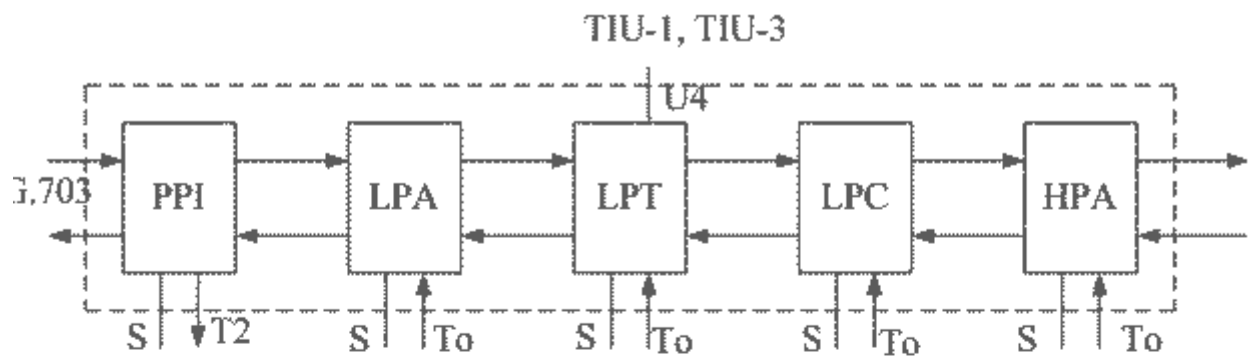




Рисунок 2.34. Примеры обозначений физических блоков аппаратуры SDH  
Обозначения на рисунках 2.33, 2.34, 2.35:

BSU – блок соединения шин;

СС – контроллер связи;

CCU-X3 – блок источника синхронизации;

CMU – блок коммутационной матрицы;

МС – основной контроллер;

MCI – интерфейс подключения MCU;

MCU – блок управления и связи;

OAI – интерфейс доступа к заголовку;

OAU – блок доступа к заголовку;

OWI – интерфейс канала служебной связи;

PPU – блок обработки указателей;

SCI – интерфейс подключения SIU;

SIU – синхронный интерфейсный (агрегатный) блок;

TCI – соединительный интерфейс TIU;

TIU – плата первичного (компонентного) интерфейса.

Использование набора физических блоков и программного обеспечения позволяет создать различные виды оборудования SDH:

- терминальные мультиплексоры;
- мультиплексоры вывода/ввода информационных каналов;
- кроссовые коммутаторы уровней VC-12, VC3/4 и комбинированные;
- регенераторы SDH.

### **2.2.3. Функциональное описание оборудования АТМ**

Функциональное описание оборудования АТМ разработано ИТУ-Т и представлено в рекомендациях I.731 *“Типы и общие характеристики АТМ оборудования”*, I.732 *“Функциональные характеристики АТМ оборудования”*.

Согласно этим рекомендациям на рисунке 2.35 представлена обобщенная схема оборудования АТМ.

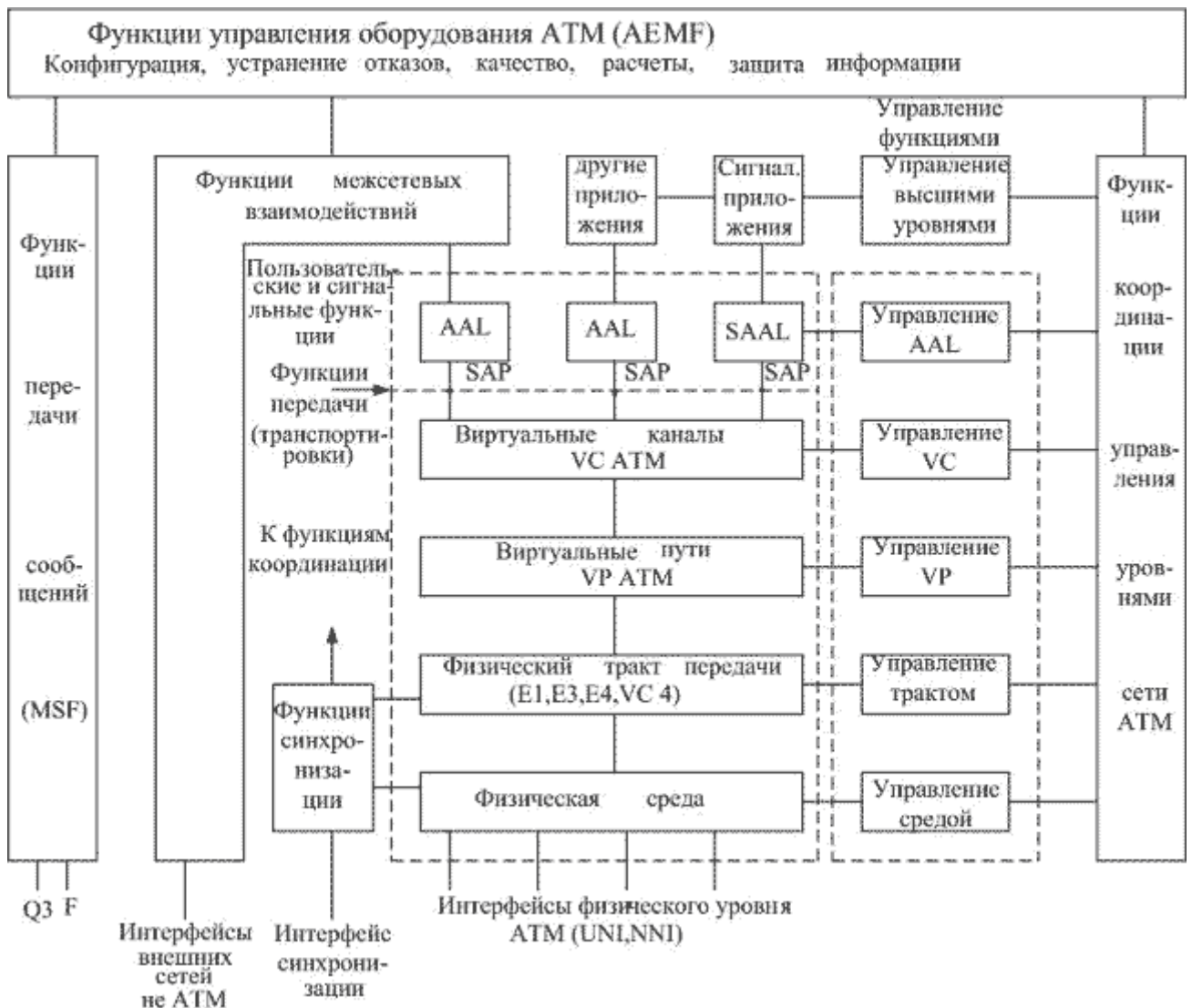


Рисунок 2.35. Обобщенная структурная схема оборудования ATM (оборудования сетевого элемента)

Функции, выделенные пунктиром в схеме, образуют основную часть оборудования, а все остальные вспомогательную. Все эти функции направлены на реализацию модели широкополосной цифровой сети с интеграцией служб (услуг) Ш-ЦСИС и в том числе транспортной сети. Функции передачи (транспортировки) обеспечивают передачу пользовательской информации, сигнализацию, управление и обслуживание. Взаимодействие с пользовательскими функциями происходит через точки доступа к сервису (SAP, service access point). Функции передачи оборудования ATM включают в себя функции физического уровня (физическая среда и физический тракт) и уровня ATM (виртуальные пути VP и виртуальные каналы VC).

Физический уровень обеспечивает функции электрооптического преобразования, линейного кодирования, хронирования, генерации циклов (PDH, SDH), контроля заголовков передачи ячеек ATM, образование секций регенерации и мультиплексирования, загрузка и выгрузка ячеек ATM в циклах и так далее. Интерфейсы физического уровня ATM подразделены на интерфейсы пользователя (UNI) и сети (NNI).

Для интерфейсов определены скоростные режимы передачи и среда передачи (таблица 2.3).

Таблица 2.3. Интерфейсы физического уровня ATM

	SDH STM-N	PDH	Ячейки в среде
	Скорость, кбит/с	Скорость, кбит/с	Скорость, кбит/с
UNI	STM - 1, 155520 STM - 4, 622080	E1, 2048 E3, 34368 E4, 139264	155520 622080
NNI	STM - 1, 155520 STM - 4, 622080 STM - 16, 2488320 STM - 64, 9953280	E1, 2048 E3, 34368 E4, 139264	нет

Функции уровня ATM в оборудовании ассоциируются с мультиплексированием/демультиплексированием ячеек, кроссовыми соединениями или коммутации ячеек ATM.

Функции физического уровня поддерживаются функциями синхронизации, которые обеспечивают выбор источника синхронизации в сети с определенным качеством сигнала синхронизации. Эти функции аналогичны функциям оборудования SDH и PDH.

Функции ATM уровня адаптации (AAL, ATM adaptation layer) предназначены для приспособления к передаче в транспортной сети ATM любого трафика, в том числе сигнальных сообщений (SAAL, signaling AAL) и сообщений управления ячейками.

Для координации управления оборудованием ATM предусмотрены функции координации. Через эти функции отслеживается прохождение информационных и служебных ячеек в оборудовании, контролируются ресурсы сети и взаимодействие между уровнями сети.

Функции межсетевых взаимодействий поддерживают протоколы взаимодействия сети Ш-ЦСИС ATM с другими сетями, например, узкополосными ЦСИС (У-ЦСИС), локальными сетями компьютеров (LAN), передачи данных (X.25, Frame Relay).

Функции управления оборудованием ATM (AEMF, ATM equipment management function) классифицируются по пяти позициям: конфигурирование сетевого элемента, управление повреждением, управление качеством, управление расчетами, защита информации в оборудовании и в сети. Организация этих функций аналогична организации их в оборудовании SDH.

Функции передачи сообщений (MCF) обеспечивают протокольные и физические реализации передачи данных управления аналогично

оборудованию SDH.

Пользовательские и сигнальные функции оборудования ATM будут подробнее рассмотрены в разделе широкополосных ЦСИС.

В качестве отдельных видов оборудования ATM в сети могут применяться согласно ITU-T:

- VP кроссовые коммутаторы, то есть устройства без доступа к виртуальным каналам и пользовательским функциям;
- VC коммутаторы, то есть устройства, в которых реализуются функции VP кроссового коммутатора и функции VC-коммутатора с сигнальными приложениями, с доступом или без к функциям пользовательских услуг;
- VP мультиплексор (концентратор);
- VC мультиплексор-концентратор;
- VC мультиплексор-концентратор с доступом для пользовательских приложений и сигнализацией.

Практическое определение оборудования ATM предполагает следующую классификацию: аппаратное и программное обеспечение в адаптерах оконечных устройств, модулях доступа, коммутаторах, вычислительных платформах. Коммутаторы ATM – центральные элементы транспортной сети.

Коммутаторы ATM классифицируют:

- коммутаторы доступа, обеспечивают выход в сеть оборудования сетей, неоснащенных функциями ATM;
- коммутаторы рабочих групп, обеспечивают взаимодействие приспособленных к ATM сети терминалов на высоких скоростях;
- коммутаторы соединения рабочих групп, являются более мощными, чем коммутаторы рабочих групп, они обеспечивают формирование корпоративных сетей;
- магистральные коммутаторы, представляют собой самые мощные устройства коммутации и распределения информации, передаваемой в виде ячеек, предназначены для корпоративных, региональных и глобальных сетей связи и сетей общего пользования.

Наполняемость функциями, согласно ITU-T, любого вида коммутатора может быть определена индивидуально. Исполнение функций оборудования в физических блоках определяет производитель.

При этом в состав оборудования ATM могут входить следующие физические блоки:

- электронные платы коммутации и буферной памяти;
- электронные платы управления;
- электронные или электрооптические платы линейных интерфейсов;
- платы адаптеров (AAL, SAAL);
- источники питания;
- источники тактового синхронизма
- и так далее.

#### **2.2.4. Функциональное описание оборудования для построения оптических сетей OTN**

Общее функциональное описание оборудования для построения оптических транспортных сетей предложено ИТУ–Т в рекомендации G.681

“Функциональные характеристики систем внутристанционных и протяженных межстанционных линий с использованием оптических усилителей, введением оптического мультиплексирования” и рекомендации G.692 “Оптические интерфейсы для многоканальных систем с оптическими усилителями”.

На рисунке 2.36 представлена общая функциональная архитектура оборудования для построения оптической транспортной сети (OTN, Optical Transport Network) с многоволновой и одноволновой передачей.

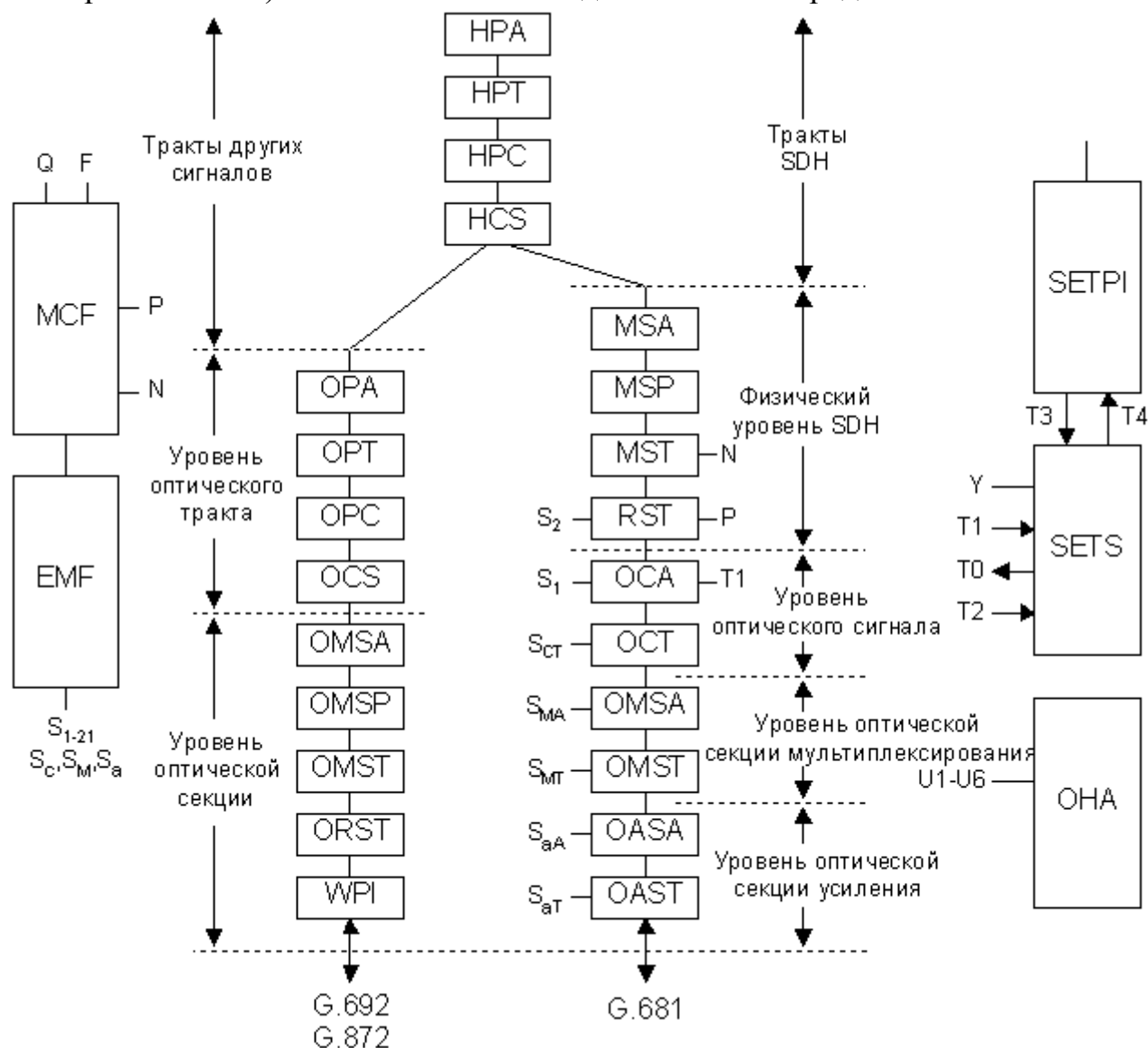


Рисунок 2.36. Функциональная архитектура оборудования для построения оптической сети

Обозначения на схеме оборудования оптической сети:

HPA, HPT, HPC, HCS, MSA, MSP, MST, RST, MCF, EMF, SETPI, SETS, OHA – рассмотрены в разделе 2.2.3;

OPA, optical path adaptation – адаптация оптического тракта;

OPT, optical path termination – окончание оптического тракта;

OPC, optical path cross-connect – кроссовые соединения оптических трактов;  
 OCS, optical connection supervision –наблюдение оптического соединения;  
 OMSA, optical multiplex section adaptation – адаптация к оптической секции мультиплексирования;  
 OMSP, optical multiplex section protection – защита секции оптического мультиплексирования;  
 OMST, optical multiplex section termination – окончание оптической секции мультиплексирования;  
 ORST, optical repeater section termination – окончание оптической секции ретрансляции;  
 WPI, WDM physical interface – физический интерфейс многоволновой передачи;  
 OCA, optical channel adaptation – адаптация к оптическому каналу;  
 OCT, optical channel termination – окончание оптического канала;  
 OASA, optical amplifier section adaptation – адаптация к оптической секции усиления;  
 OAST, optical amplifier section termination – окончание оптической секции усиления;  
 Из рисунка 2.36 нетрудно заметить различные трактовки функционального наполнения архитектуры оптических сетей по рекомендациям G.681, G.692, G.872. Это нашло отражение и в реальной аппаратуре. Примеры схем аппаратуры оптических сетей приведены на рисунках 2.37, 2.38.



Рисунок 2.37. Транспондер в оптической сети

На рисунке 2.37 представлена транспондерная схема оборудования оптической сети. В этой схеме предусмотрено оптоэлектронное преобразование в системе SPI – SPI и электрооптическое преобразование в системе OCA/OCT с последующим мультиплексированием оптических сигналов на определенных частотах в OMS и передачей с повышенной мощностью (OAm) в линию и, естественно, обратные процедуры. В системе OCA/OCT происходит компенсация джиттера и вандера, компенсация дисперсионных искажений в волновом канале, использование оптических заголовков передаваемых данных для контроля ошибок передачи в оптическом канале электронная регенерация.

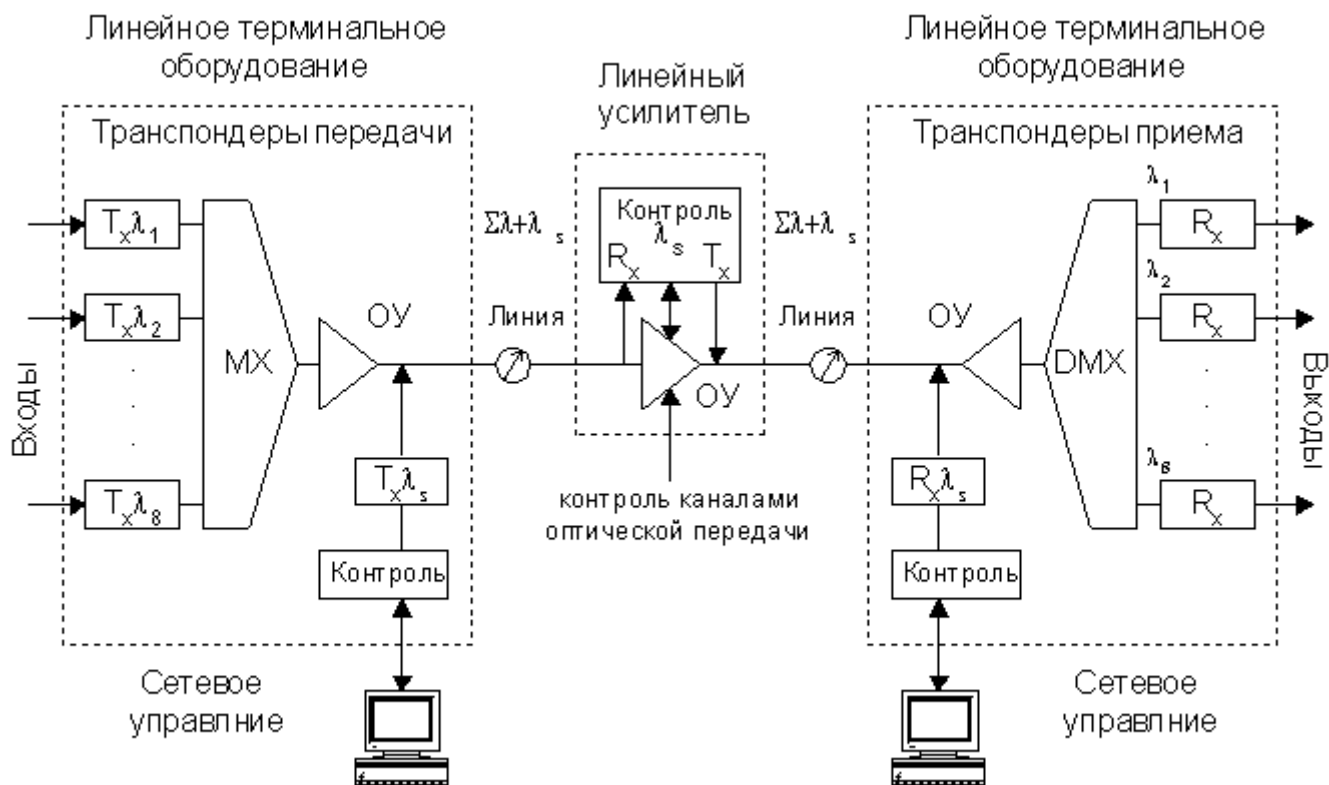


Рисунок 2.38. Оборудование оптической системы 1640WM

На схеме оборудования системы Alcatel 1640WM (рисунок 2.38) обозначено: ОУ – оптический усилитель, МХ – мультиплексор, DMX – демультиплексор,  $T_x$  – транспондер на передаче,  $R_x$  – транспондер на приёме. Кроме того, в схеме предусмотрен волновой канал передачи информации управления.

Оборудование 1640WM является системой с разделением по длинам волн для оптического сетевого уровня. В оборудовании промежуточные станции – усилители могут конфигурироваться как устройства выделения / ввода волновых каналов с цифровыми потоками (до 8) и компенсацией дисперсии в каждом канале. Транспондеры адаптируют сигналы для передачи в многоволновом тракте. При этом они могут использоваться для электронной регенерации цифровых сигналов. В системе возможно последовательное увеличение емкости передачи до 80 и 160 каналов. Каждый оптический канал поддерживает передачу на скорости до 10 Гбит/с.

### 2.3. Электрические и оптические интерфейсы сетевых элементов

Сетевые элементы транспортных сетей оснащаются электрическими и оптическими интерфейсами, которые определены различными рекомендациями ИТУ–Т (таблица 2.4).

Таблица 2.4. Интерфейсы сетевых элементов.

Тип интерфейса	Назначение	Рекомендации ИТУ-Т
Оптический SDH	Определение характеристик оптических сигналов аппаратуры SDH и сетевых интерфейсов (STM-1,	G.707 G.957

	4, 16, 64)	G.958 G.691 I.432
Оптический многоволновой передачи	Определение физических и протокольных характеристик интерфейса для многоволновой передачи	G.681 G.691 G.692 G.709 G.871 G.872 G.959
Оптический PDH	Определение характеристик оптических сигналов аппаратуры PDH (E1, E2, E3, E4)	G.955 G.956 G.981 I.432
Электрический PDH и SDH	Определение характеристик электрических сигналов аппаратуры PDH и SDH для сигналов 64 Кбит/с; 2048 Кбит/с; 8.448 Мбит/с; 34.368 Мбит/с; 139.264 Мбит/с; синхронизации; 155.520 Мбит/с	G.703
Сетевое управление через Qx – интерфейсы	Определение физических и протокольных характеристик передачи данных управления	G.773 G.784 M.3010
Локальное и сетевое управление через интерфейс F	Определение физических и протокольных характеристик взаимодействия терминала управления и сетевого элемента	M.3010 M.3300 (RS 232 RS 485)

Оптические интерфейсы SDH определены для различных применений.

Каждое применение характеризуется своим кодом интерфейсного модуля:

- I – обозначает внутриванционные применения (intro-office);
- S – обозначает передачу на короткие расстояния (short-haul);
- L – обозначает передачу на протяженных (больших) участках (long-haul);
- V – обозначает передачу на очень большие расстояния (very long-haul);
- U – обозначает передачу на сверхбольшие расстояния (ultra long-haul).

В обозначениях оптических интерфейсов SDH присутствуют цифровые индексы 1, 4, 16, 64, которые указывают на реализуемый иерархический цифровой уровень синхронно транспортного модуля STM-N. Кроме того, в состав цифрового обозначения могут входить индексы 1, 2, 3, указывающие на длину волны излучения источника и тип оптического волокна. Сводные характеристики оптических интерфейсов SDH представлены в таблице 2.5, детальнее описание оптических интерфейсов SDH приведено в учебном пособии В.Г.Фокина Оптические системы передачи.-Новосиб.: СибГУТИ, 2002.



Таблица 2.5.

Применение		Внутри узла	Междузловое						
			Короткая линия			Протяженная линия			
Длина волны источника, нм		1310	1310	1550	1310		1550		
Тип волокна		G.652	G.652	G.652	G.652	G.652, 654		G.653	
Расстояние, км		≤2	~15	>15	~40	~80		>80	
Уровень STM	STM – 1 155.52	I-1	S-1.1	S-1.2	L-1.1	L-1.2		L-1.3	
	STM – 4 622.08	I-4	S-4.1	S-4.2	L-4.1	L-4.2	U-4.2	L-4.3	U-4.3
	STM – 16 2488.32	I-16	S-46.1	S-16.2	L-16.1	L-16.2	U-16.2 V-16.2	L-16.3	U-16.3 V-16.3
	STM – 64 9953.28	I-64.1, 2, 3, 5	S-64.1	S-64.2	L-64.1	L-64.2	V-64.2	L-64.3	U-64.3 V-64.3
STM – 256 39813.12	*	*	*	*	*	*	*	*	

Примечание: Характеристики интерфейса STM – 256 пока не определены стандартами.

\* – стандарт отсутствует.

Оптические интерфейсы PDH определены для локальных сетей связи с передачей по многомодовым и одномодовым оптическим волокнам. В характеристиках определены: скорости передачи данных (от 2,048 до 139,264 Мбит/с), длины волн передачи (850, 1310 и 1550 нм), способ организации интерфейса (с одним волоконном и двумя волокнами), минимальная полоса пропускания линии, максимальное затухание линии, типы источников излучения, вероятность ошибки, линейное кодирование. Примеры характеристик определены в таблице 2.6.

Оптические интерфейсы многоволновой передачи по многим характеристикам еще находятся на стадии становления стандартов и их проверки. К характеристикам интерфейсов в этом случае следует отнести:

- число длин волн;
- шаг между волнами;
- способ объединения и разделения несущих частот;
- способ формирования несущих частот;
- способ модуляции;
- способ коррекции искажений сигналов, вызванных дисперсией и нелинейными помехами;
- максимальная величина усиления промежуточных и оконечных усилителей;
- типы и характеристики оптических волокон;
- способы контроля передачи в интерфейсах;
- способы организации волновых трактов (блоки и модули) и т.д.

Примеры некоторых характеристик интерфейсов многоволновой оптической передачи приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.6 Примеры характеристик оптических интерфейсов (согласно G.955, 956) для плезиохронных систем передачи

Технические характеристики

Иерархические скоростные режимы

Скорость, Мбит/с	2.048	8.448	34.368	139.264
Длина волны, мкм	0.85/1.3	0.85/1.3	0.85/1.3/1.55	1/1.5
Минимальная мощность передатчика, дБм				
СИД: 0.85 мкм	-17	-17	-17	-
СИД: 1.3 мкм (ММ)	-21	-21	-21	-
СИД: 1.3 мкм (ОМ)	-30	-30	-30	-
ППЛ: 1.3 мкм (ММ)	-1	-1	-1	-1
ППЛ: 1.3 мкм (ОМ)	-4	-4	-4	-4
ППЛ: 1.3 мкм (ОМ, малой мощности)	-14	-14	-14	-14
ППЛ: 1.55 мкм (ОМ)	-	-	-7	-7
Чувствительность приемника, дБм при Кош менее 10 <sup>-9</sup> на длине волны:				
0.85 мкм	-51	-46	-40	-
1.3 мкм	-52	-47	-42	-35
1.3 и 1.5 мкм	-	-	-	-38
Динамический диапазон приемника, дБ на длине волны:				
0.85 мкм	>40	>34	>26	-
1.3 и 1.5 мкм	>53	>48	>40	>35

Обозначения в таблице: СИД – светоизлучающий диод; ППЛ – полупроводниковый лазер; ММ – многомодовое волокно; ОМ – одномодовое волокно.

Таблица 2.7. Примеры характеристик оптических интерфейсов многоволновой передачи

Характеристика интерфейса	Функции
Число волновых компонентных сигналов и полоса частот	до 32 в полосе С до 64 в полосе С + L
Энергетический потенциал	0 до 14 дБ для коротких линий; 38 дБ и 208дБ (8x26 дБ) с оптическими усилителями; 46 дБ и 308 дБ (11x22 дБ) с оптическими усилителями и коррекцией ошибок.
Максимальная хроматическая дисперсия оптического тракта	6400 пс/нм и 12800 пс/нм на скорости 2.5 Гбит/с; 1400 пс/нм на скорости 10 Гбит/с При превышении дисперсии номинала может использоваться блок компенсации дисперсии.
Тип разъема	SC/SPC или FC/SPC

Электрические интерфейсы G.703 являются самыми распространенными в

сетях связи. В таблице 2.8 приведены разделы рекомендации G.703 и указаны иерархические уровни интерфейсов.

Таблица 2.8. Общее представление G.703

Раздел G.703	Скорость передачи, Кбит/с	Иерархия	Уровни иерархии
1	64	Е, А, Я	0 (Е0)
2	1544	PDH (А, Я)	1
3	6312	PDH (А, Я)	2
4	32064	PDH (Я)	3
5	44736	PDH (А)	3
6	2048	PDH (Е)	1 (Е1)
7	8448	PDH (Е)	2 (Е2)
8	34368	PDH (Е)	3 (Е3)
9	139264	PDH (Е)	4 (Е4)
–			
11	97728	PDH (Я)	4
12	155520	SDH	1 (STM – 1)

Обозначение: Е – европейский, А – американский, Я – японский стандарты. Каждому из цифровых потоков определено значение стабильности тактовых интервалов:

Е0, +-100 ppm;

Е1, +-50 ppm;

Е2, +-30 ppm;

Е3, +-20 ppm;

Е4, +-15 ppm;

где, ppm – (parts per million) миллионные доли от номинала.

Кроме того, для каждого отдельного интерфейса определены: используемый код (СМ1, HDB3); амплитуда и длительность импульсов; сопротивление симметричного (120 Ом) и несимметричного (75 Ом) стыков; маски импульса; максимальное затухание на полутактовой частоте в линии, соединяющей различные устройства; потери на отражение.

Отдельной статьей в G.703 оформлено значение интерфейса синхронизации G.703/10, характеристики которого приведены в 2.6.

Интерфейсы локального и сетевого управления рассмотрены в разделе 2.7.

## **2.4. Архитектуры транспортных сетей**

Для построения транспортных сетей используются следующие архитектурные решения (рисунок 2.39):

- соединение “точка–точка”;
- “линейная цепь”;
- «уплотненное кольцо»;
- кольцевые сети 2-х и 4-х волоконной конфигурации;
- ячеистые архитектуры.

Применение каждой из архитектур диктуется конкретными условиями. Например, на магистральной транспортной сети предпочтение отдается защищенным соединениям точка–точка и ячеистым решениям. На местных и внутризоновых сетях применяются кольцевые структуры с полной или частичной защитой линий или трафика. В технологических транспортных сетях, где требуется частый доступ к каналам, реализуют линейные или уплотненные архитектуры.

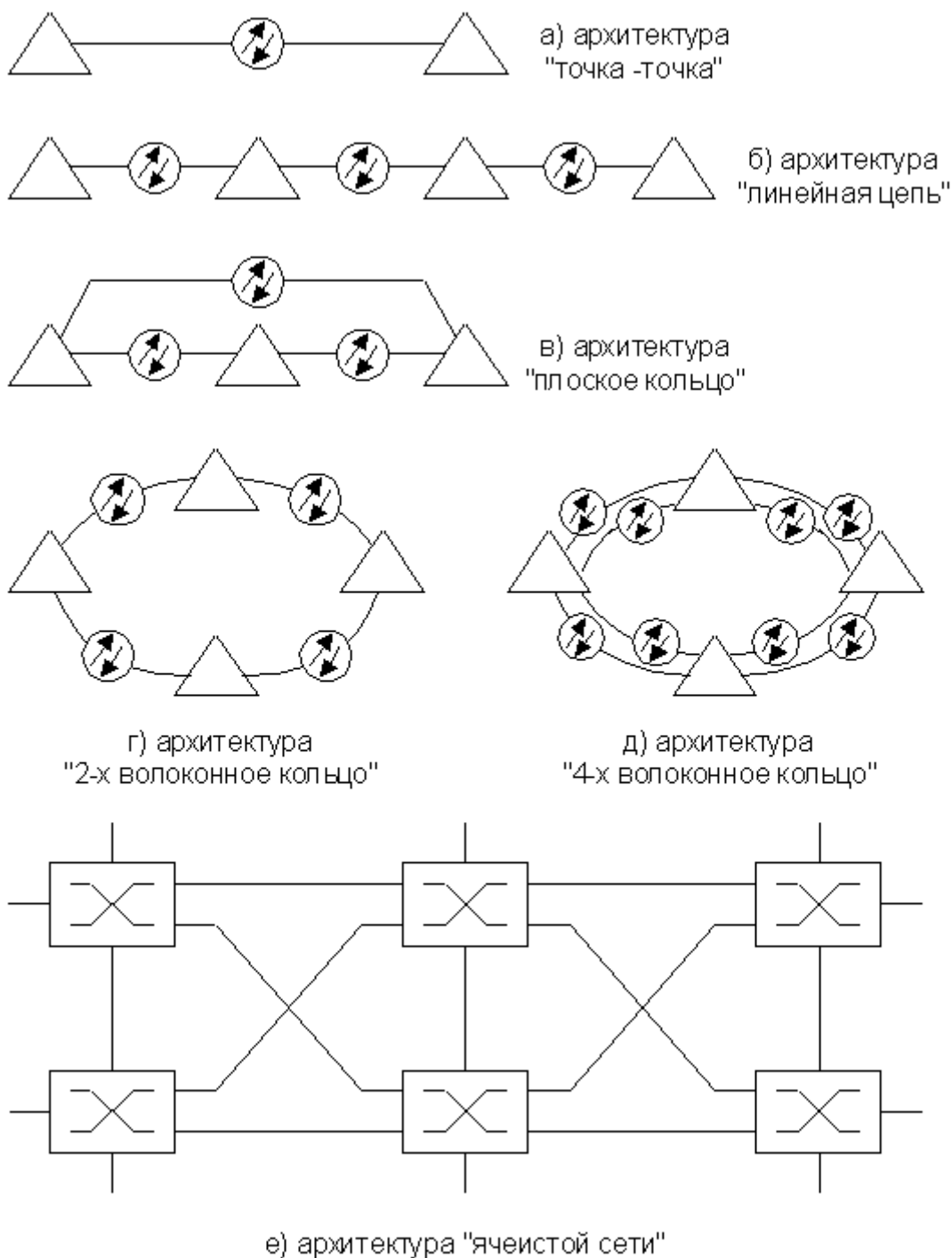


Рисунок 2.39. Архитектуры транспортных сетей

### 2.5. Резервирование в транспортных сетях

Оборудование транспортных сетей, выполняемые с учетом рекомендаций ИТУ–Т, имеют встроенные средства резервирования секций мультиплексирования, трактов, каналов и отдельных блоков аппаратуры. В оборудовании гибких мультиплексоров PDH, мультиплексоров SDH, коммутаторах АТМ, мультиплексорах WDM заложены возможности резервирования по схемам 1+1 и 1:1 с гарантированной 100% защитой сети трактов, подсети трактов, секций. Однако режимы 1+1 и 1:1 отличаются. В режиме 1:1 возможно использование под дополнительную нагрузку резервного пути. На рисунке 2.40 представлены схемы резервирования 1+1 и

1:1.

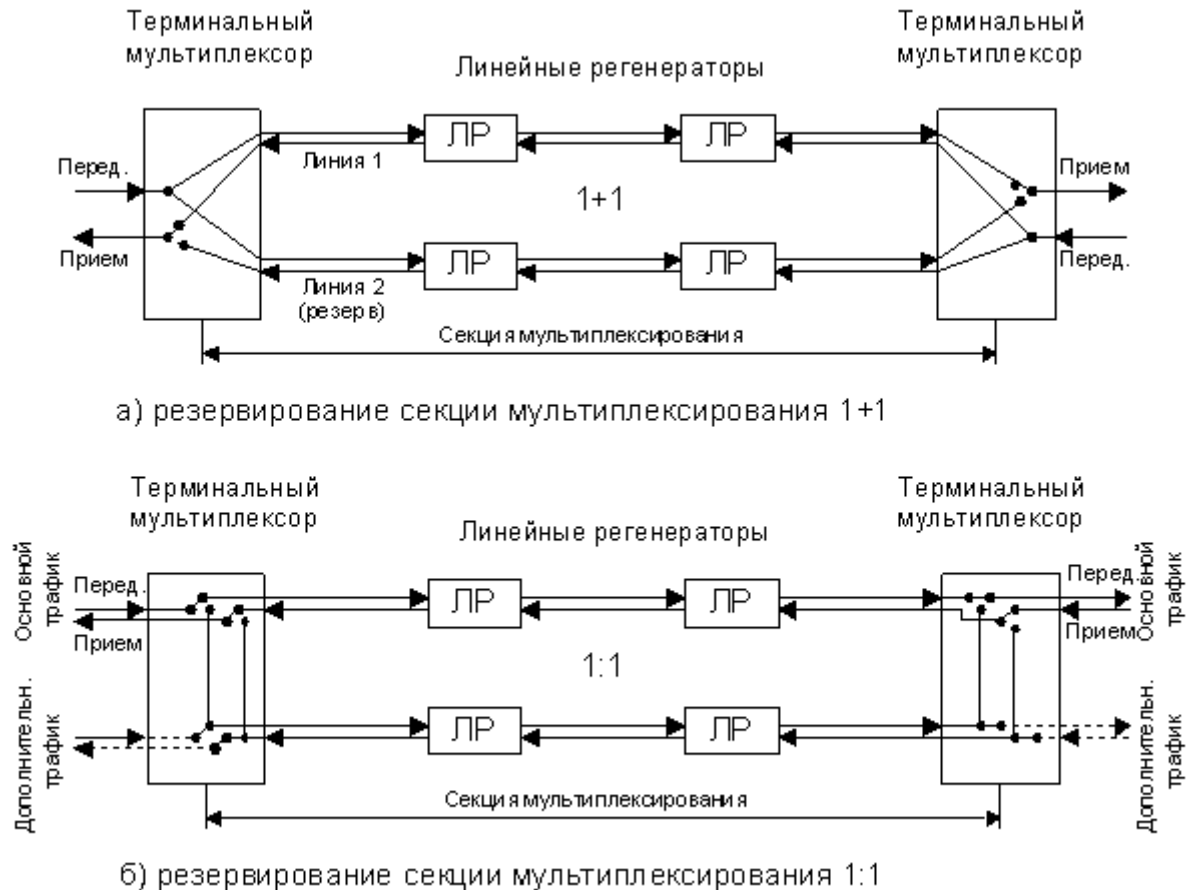


Рисунок 2.40. Резервирование секций транспортных сетей

Кроме того, в секциях мультиплексирования возможна реализация защиты трафика по схеме 1: n, т.е. на n рабочих секций приходится одна секция защиты, которая может использоваться для передачи дополнительного трафика.

Признаками для активизации защитного переключения могут быть следующие показатели (сигналы):  $10^{-3} \dots 10^{-9}$

- ухудшение сигнала (SD), когда значение коэффициента ошибок по битам (BER) находится в диапазоне;
- потеря сигнала (LOS);
- потеря цикла (LOF);
- избыточный коэффициент ошибок по битам для секции мультиплексирования ( $\geq 10^{-3}$ ).

Учитывая, что передача может происходить по одной или двум параллельным схемам, возможны различные варианты переключений: синхронизированный и несинхронизированный.

При двунаправленной передаче переключение на резерв осуществляется в двустороннем режиме. Оба направления передачи контролируются непрерывно и при необходимости переключаются синхронно между собой. При однонаправленной передаче переключение на резерв осуществляется в одностороннем режиме. Каждое направление передачи контролируется отдельно и при необходимости выполняется переключение. Это может

привести к ситуации, когда по основной секции осуществляется передача только в одном направлении, а передача в другом направлении ведется по резервной секции. Защита секции мультимплексирования рассчитана на реализацию в обратимом и необратимом режиме.

Обратимый режим – возврат на основную секцию как только на этой секции восстанавливается соответствующее качество передачи, и это состояние сохраняется в течении определенного периода времени (ожидание перед восстановлением).

Необратимый режим – автоматический возврат на основную секцию не обеспечивается, однако возврат на основную секцию возможен, когда качество передачи по резервной секции становится ниже качества по основной секции.

Защита секции мультимплексирования может быть реализована в ручном режиме.

Важнейшей составной частью резервирования в транспортной сети является резервирование трактов. Резервирование трактов возможно в подсети.

Тракт в транспортной сети представляет собой маршрут передачи, у которого на концах находятся точки окончания. Например, трактом может быть маршрут передачи между двумя оконечными мультимплексорами с интерфейсами PDH (рисунок 2.41).

Между двумя сетевыми элементами, обеспечивающими точки окончания тракта (ТОТ), могут быть установлены другие сетевые элементы.

Соединение подсети является частью тракта, завершаемое двумя точками окончания соединения, рассчитанными на функцию контроля соединения. В точках соединения производится мониторинг сигналов. На таком подмаршруте передачи могут быть установлены другие сетевые элементы.

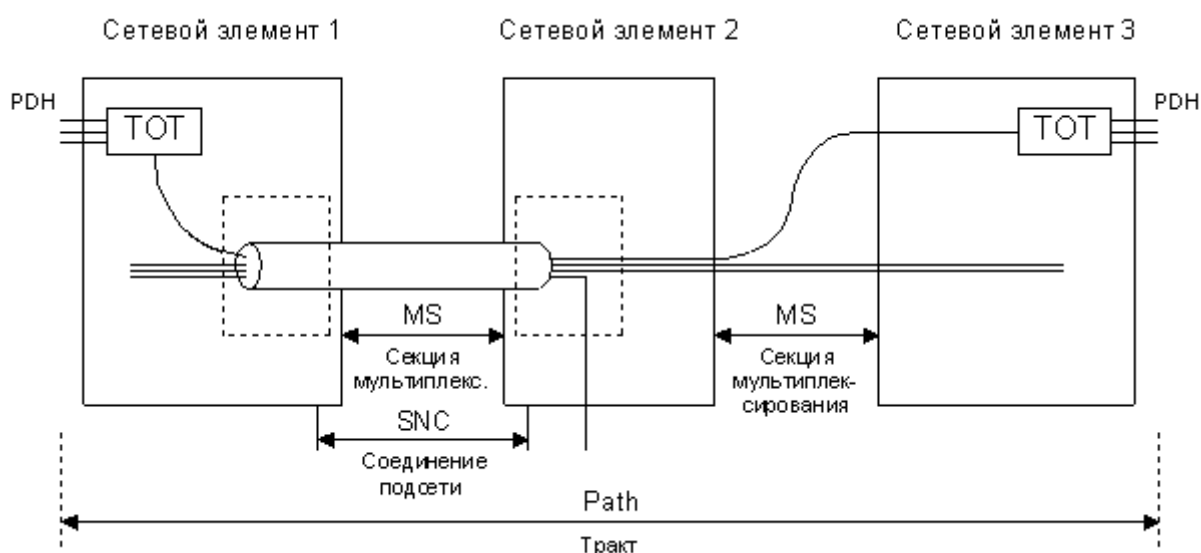


Рисунок 2.41. Тракт, подсеть, секция мультимплексирования

Принцип резервирования соединения подсети или тракта (SNCP–Sub-network connection protection) основывается на дублировании передаваемых сигналов и выборе наилучшего сигнала из доступных на окончании соединения. Два сигнала одного источника пересылаются по двум соединениям подсети, одно

из которых определено в качестве основного, а другое – в качестве резервного. Система переключается на резервное соединение только при отказе основного.

Защита секций и трактов (соединений подсети) применяется в любых конфигурациях транспортных сетей. Однако особое положение в этом смысле имеют сети кольцевой архитектуры. В кольцевых сетях предусмотрены следующие варианты защиты:

- однонаправленное кольцо 2-х волоконное с защитой подсети или секции;
- двунаправленное кольцо 2-х волоконное с защитой подсети или секции;
- двунаправленное 4-х волоконное кольцо с защитой секции;

Принципы однонаправленности и двунаправленности соединения в кольцевой сети демонстрируется на рисунке 2.42. Эти соединения могут быть выполнены в любой из транспортных сетей (SDH, ATM, WDM), однако различаются принципами реализации (электронные, оптические, протокольные). При этом в SDH и WDM сетях защита носит характер физического переключения, а в сети ATM протокольного изменения пути доставки данных.

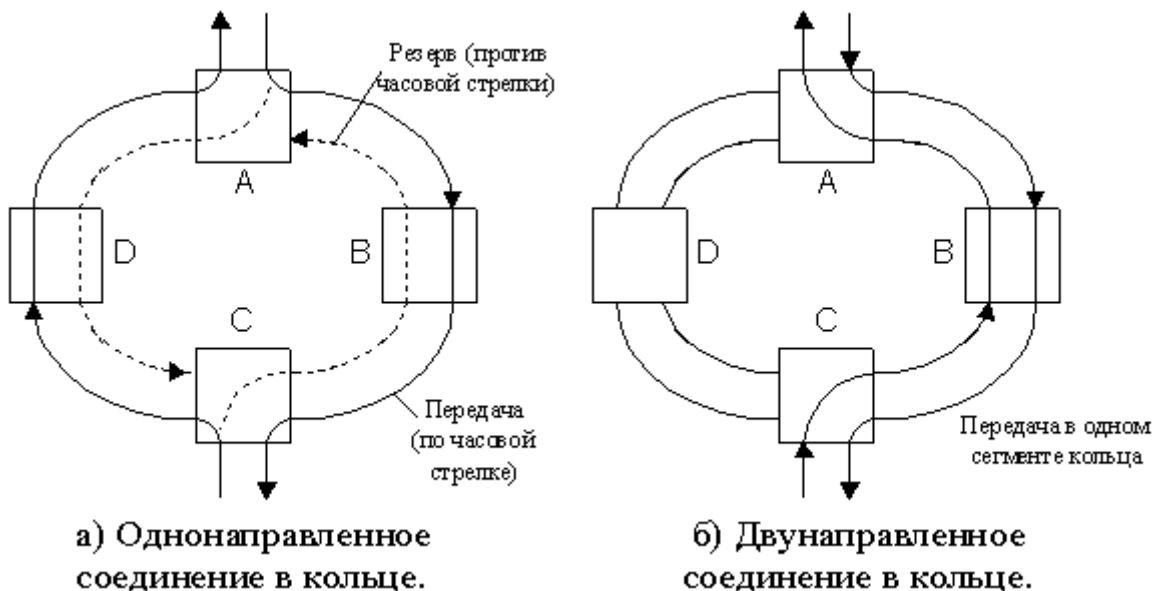


Рисунок 2.42. Принципы одно- и двунаправленного соединения в кольце  
Резервирование соединения в кольце SNCP состоит в следующем.

Составляющие сигналы направляются по кольцу по часовой и против часовой стрелки. В принимающем узле сигналы сравниваются и выбирается сигнал с более высоким качеством. При разрыве линии передачи сигналы направляются по другому пути (рисунок 2.43).



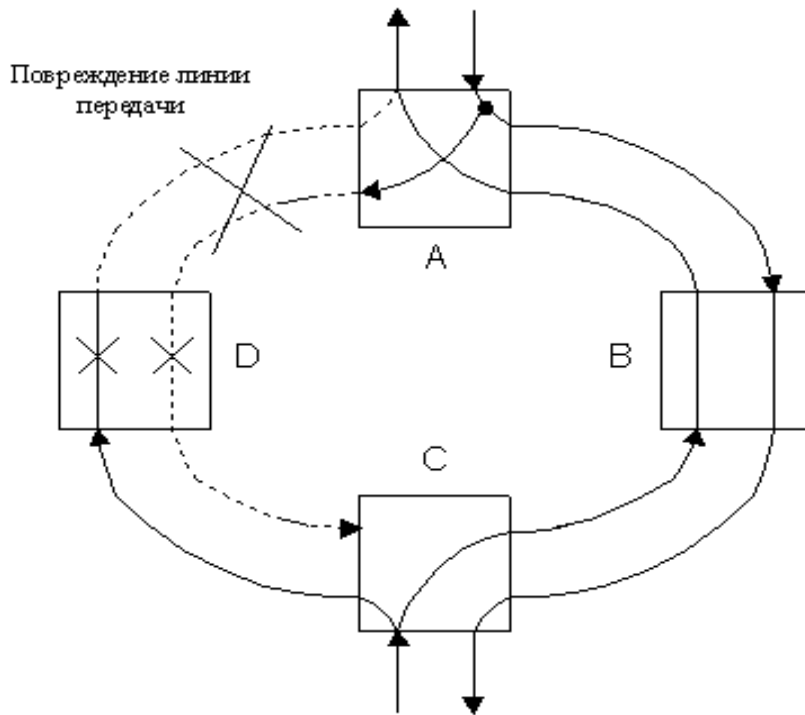
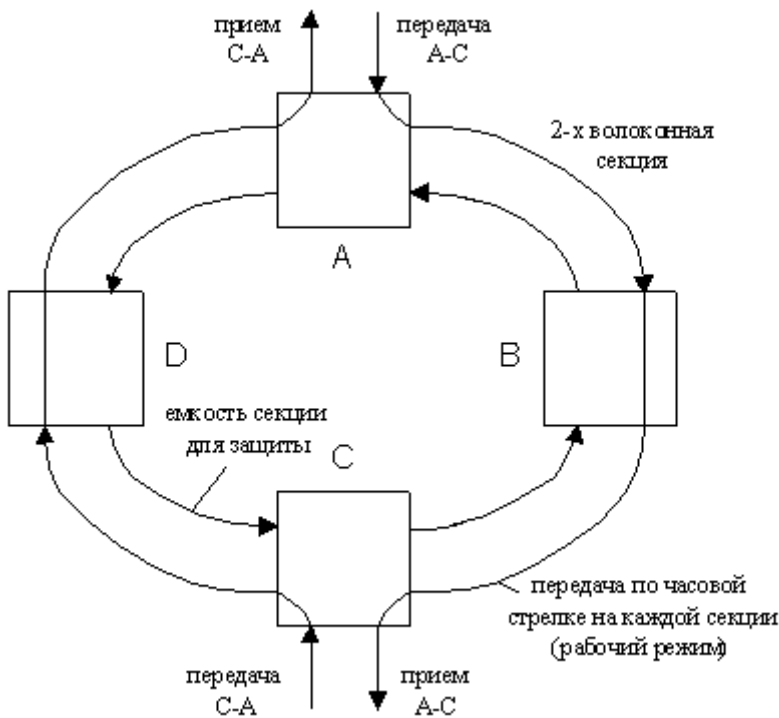
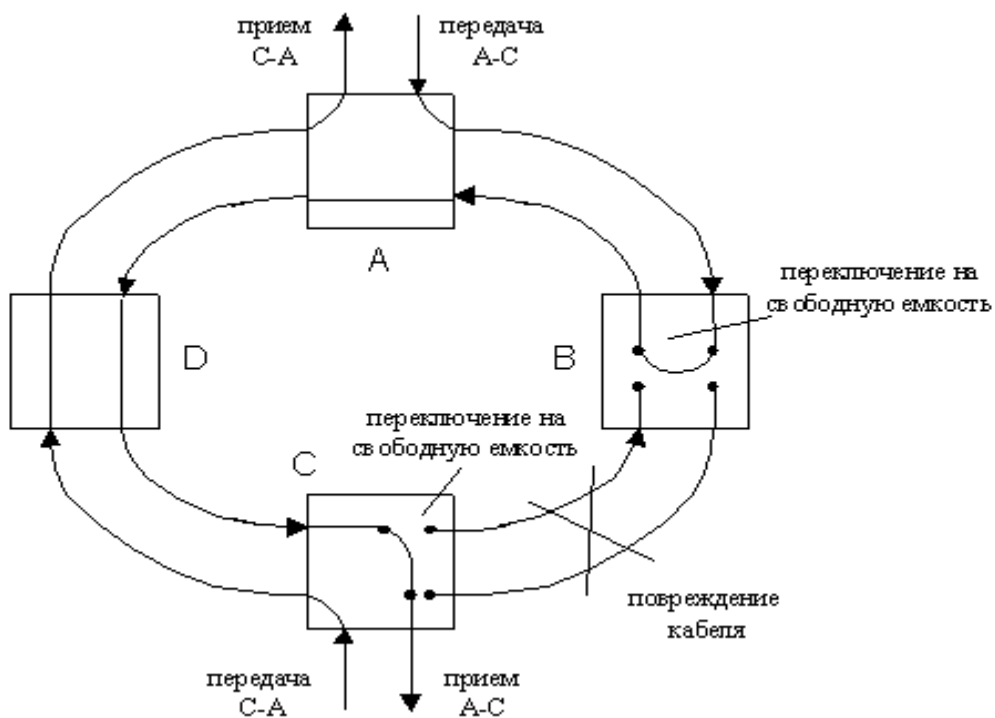


Рисунок 2.43 Защитное соединение SNCP

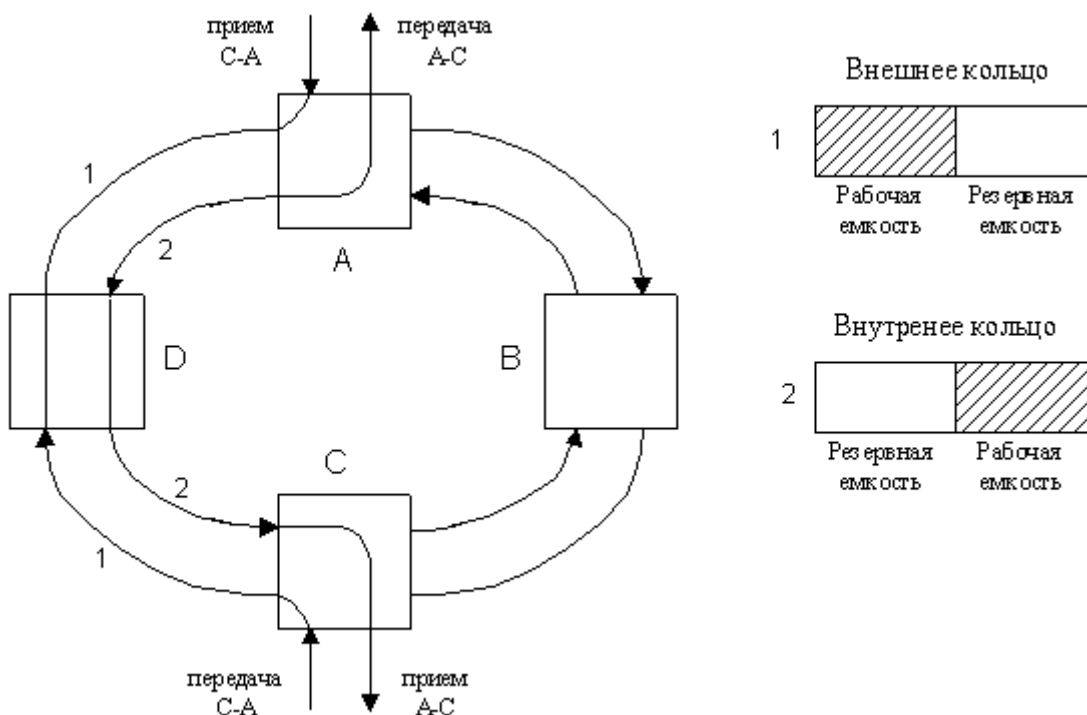
На рисунке 2.44 представлена схема однонаправленного 2-х волоконного кольца с защитой секции мультиплексирования, которая гарантирует сохранение трафика любой поврежденной секции.



а) Организация 2-х волоконного кольца с однонаправленной передачей



б) Защитное переключение в поврежденной секции на резервную емкость  
 Рисунок 2.44. Однонаправленные 2-х волоконные кольца с защитой секции  
 На рисунке 2.45 представлена схема резервирования 2-х волоконного  
 двунаправленного самовосстанавливающегося кольца BLSR (Bi-directional  
 line switched ring). При организации этого способа защиты емкость каждой  
 секции между мультиплексорами загружается не более чем на половину.  
 Например, в цикле SDH STM-N полезная нагрузка занимает не более  $N/2$ . В  
 этом случае создается возможность обходить поврежденную секцию за счет  
 перегрузки данных на свободную емкость внутри STM-N.



а) Организация 2-х волоконного кольца с двунаправленной передачей

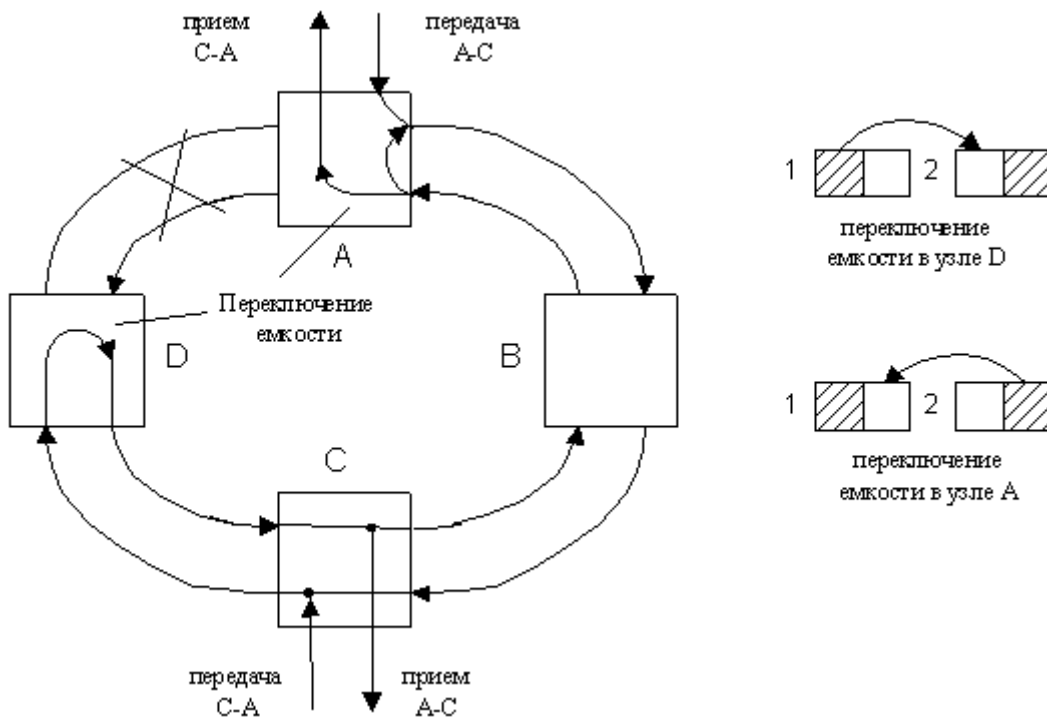
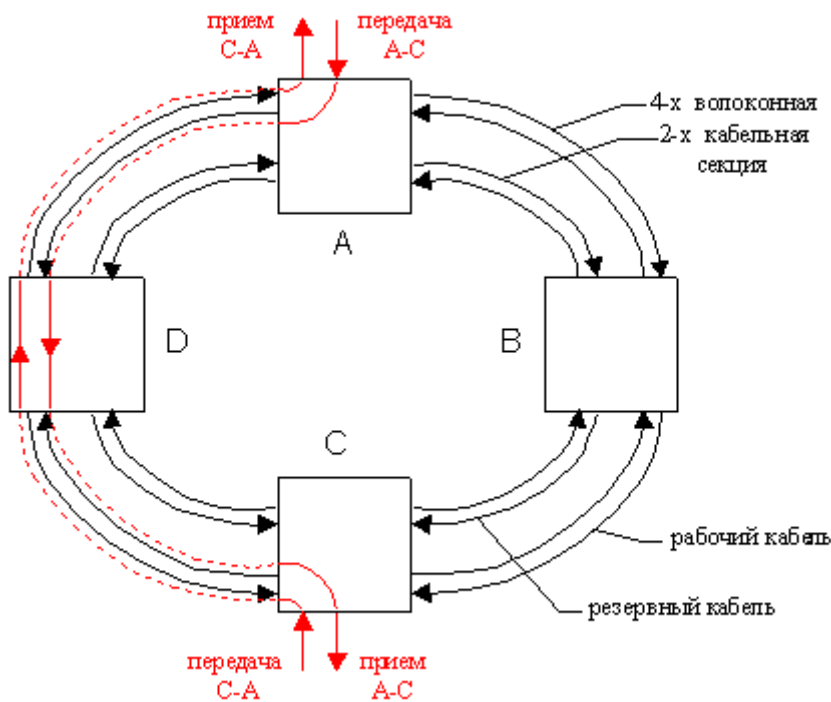
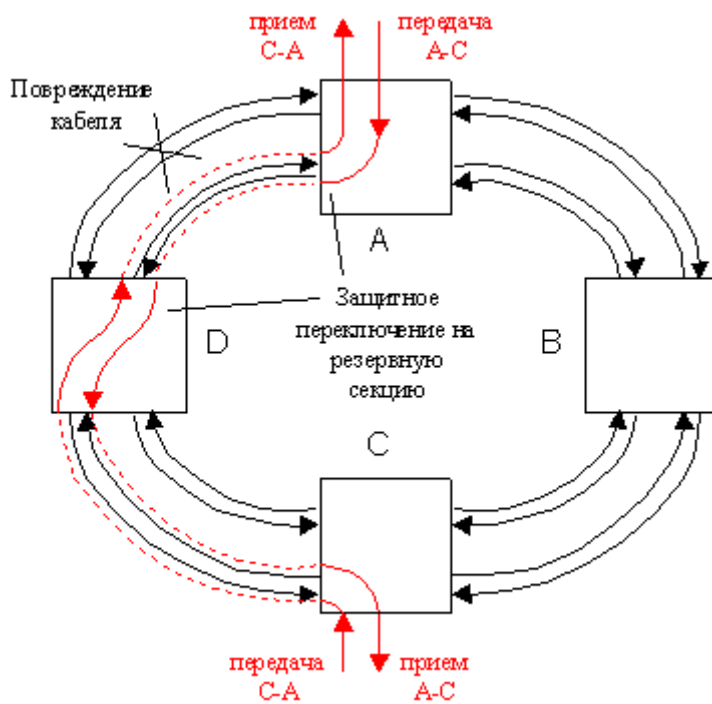


Рисунок 2.45 Резервирование 2-х волоконного BLSR

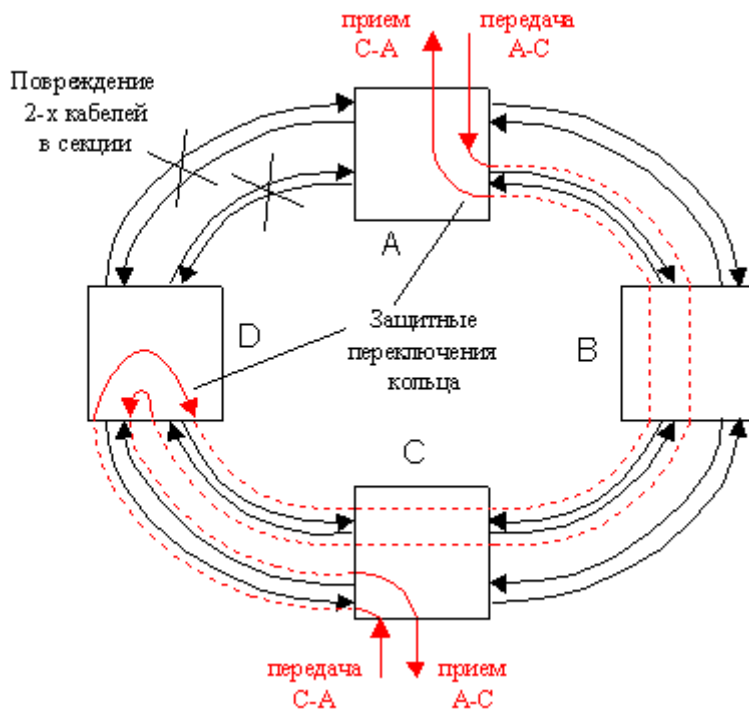
Защита кольцевой транспортной сети с 4-х волоконным двунаправленным режимом передачи демонстрируется на рисунке 2.46.



а) Организация 4-х волоконного двунаправленного кольца BLSR



б) Защита поврежденного кабеля в секции 4-х волоконного BLSR



в) Защита двух поврежденных кабелей в секции 4-х волоконного BLSR  
Рисунок 2.46. Резервирование 4-х волоконного BLSR

Защитные переключения в кольцевых сетях, направленные на резервирование секций получили общее обозначение:

MS – SPRing, multiplexer section shared protection ring – кольцо разделяемой защиты секции мультиплексирования.

Для защиты трафика (каналов) при переключениях установлен норматив на время переключения. Согласно рекомендаций ITU-T G.841/842:

- время переключения SNCP верхнего и нижнего порядка не более 30 мс;
- время переключения MSP 1+1; 1:1; 1:N не более 50 мс;

– время переключения MS–SPRing не более 50 мс.

Резервирование блоков оборудования транспортной сети используется во избежание прерываний связи при отказе компонентов. Наиболее ответственные блоки оборудования, например, кроссовые коммутаторы SDH (LPC, NPC) или блоки тактового синхронизма (CLK или SETS), резервируются по схеме 1+1. Возможно резервирование компонентных блоков, например, блоки интерфейсов SDH LOI и HOI могут резервироваться по схемам 1+1; 1:3; 1:4; 1:N ( $N \leq 10$ ). Однако некоторые блоки оборудования транспортных сетей могут не резервироваться, например, в оборудовании SDH это блоки OHA, SEMF.

Любая цифровая система в своей основе требует тактовый задающий генератор, который должен тактировать все внутренние и внешние операции по обработке цифровых данных. Наибольшие сложности в цифровых системах возникают, когда необходимо наладить взаимодействие различных в своей основе цифровых систем, т.е. систем с различными тактовыми генераторами и функциональными реализациями (системы передачи и коммутации). Даже внутри одной системы, например, системы передачи, требуется синхронизировать приемник сигнала с передатчиком (тактовый синхронизм, цикловой синхронизм, сверхцикловой синхронизм).

Применение разных тактовых генераторов может повлечь за собой сбой передачи, если не произвести принудительной синхронизации генератора приемника генератором передатчика. При этом на стабильность частот генераторов на обоих концах линии цифровой передачи будут влиять различные физические факторы, которые вызывают дрожание фазы тактирующих импульсов.

Этими факторами являются:

- шум и помехи, действующие на цепь синхронизации в приемнике;
- изменение длины пути передачи сигнала, обусловленные температурными перепадами, рефракцией в атмосфере и т. д.;
- изменение скорости распространения сигналов в физической среде (в проводных и беспроводных линиях);
- нарушение регулярности поступления хронизирующей информации;
- доплеровские сдвиги от подвижных оконечных устройств;
- переключения в линиях (срабатывание автоматического резервирования);
- систематические дрожания фазы цифрового сигнала, возникающие в регенераторах (повторителях).

Для решения проблем накопления фазовых дрожаний различного происхождения применяется ряд специальных мер.

Применение эластичной памяти для компенсации кратковременной нестабильности тактовой частоты. Пример использования такой памяти приведен на рисунке 2.47.

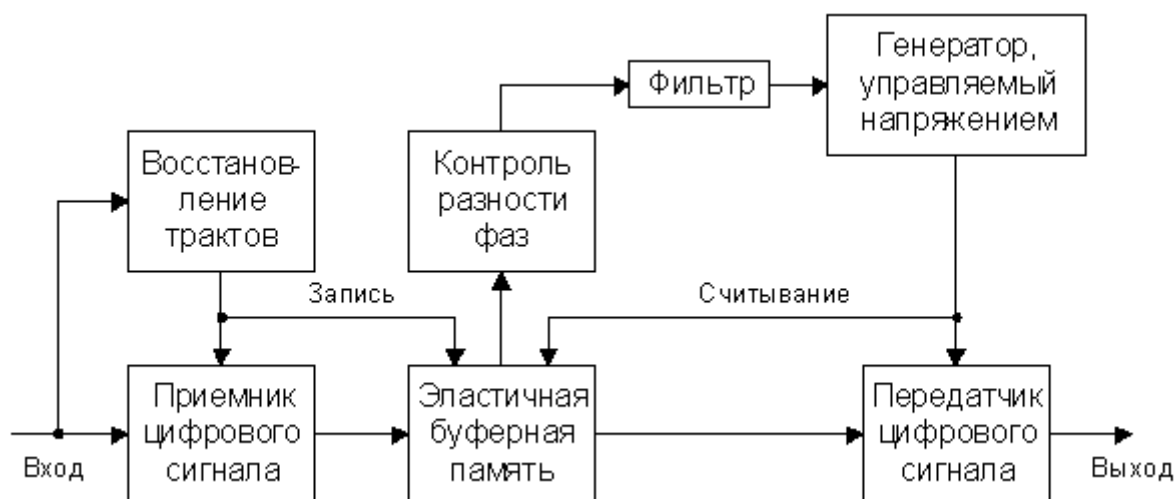


Рисунок 2.47. Пример схемы, устраняющей фазовые дрожания цифрового сигнала

Применение высокостабильных генераторов тактовых частот для сетей связи. Как правило, эти генераторы выполнены на основе атомного эталона частоты (цезиевые, водородные, рубидиевые) и обеспечивают долговременную стабильность тактов в заданных пределах, например

$$\Delta f/f_0 \leq 10^{-12}.$$

Применение таких генераторов позволяет организовать принудительную иерархическую систему управления множеством тактовых генераторов. Термины и определения ТСС первоначально приведены в рекомендации МСЭ-Т G.810. Ряд терминов и определений, которые необходимы для дальнейшего изложения материала, приведены ниже.

В цифровых системах понятие "синхронизм" тесно связано с понятием "проскальзывания" (slips).

Проскальзывание - исключение или повторение в цифровом сигнале одного или нескольких бит, происходящее вследствие различия в скоростях записи и считывания двоичных данных в буферных устройствах.

Проскальзывание может быть управляемым или неуправляемым.

Проскальзывание, которое не приводит к сбою цикловой синхронизации, называют управляемым. При этом сигнал с потерями восстанавливает синхронизм.

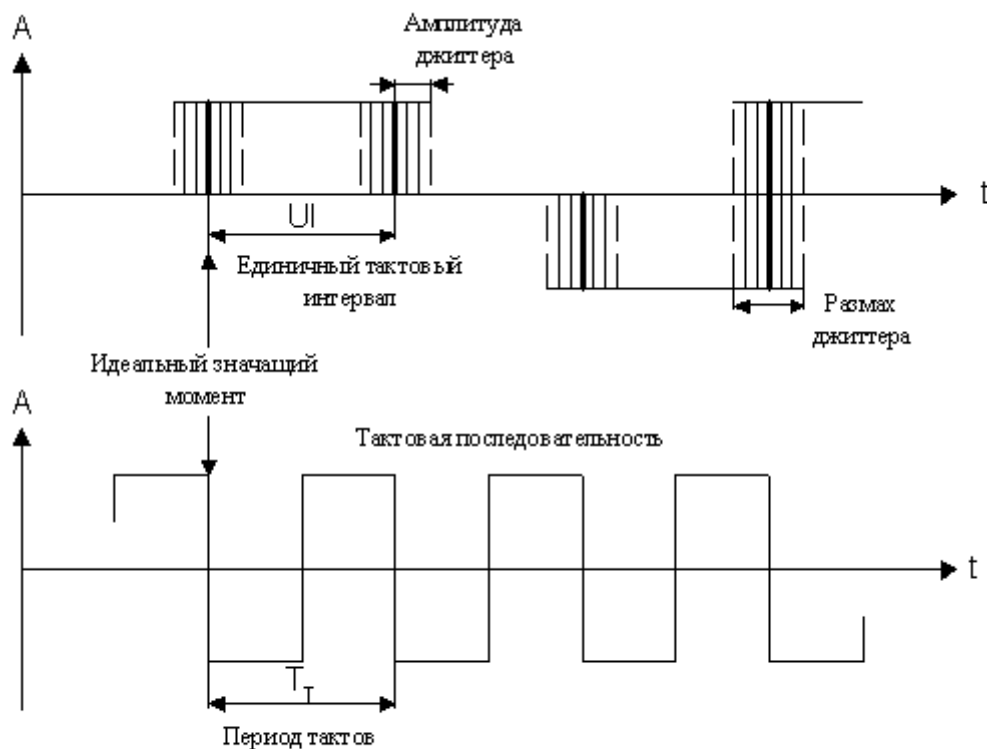
При неуправляемом проскальзывании моменты потери и повторения позиций в цифровом сигнале невозможны.

Фазовые дрожания - кратковременные отклонения значащих моментов цифрового сигнала от их идеальных положений во времени. Если частота отклонений превышает 10 Гц, то их называют джиттером (Jitter). Если частота отклонений не превышает 10 Гц, то их называют блужданиями или вандером (Wander). На рисунке 2.48 представлены характеристики импульсного сигнала с изменением значащих моментов.

В современной технологии контроля получила распространение практика измерения амплитуды дрожания цифрового сигнала в единицах времени: абсолютных мкс (микросекунды) или приведенных - единичных интервалах UI (Unit Interval). Одним единичным интервалом называется время

необходимое для передачи одного бита информации с заданной скоростью передачи.

Источниками тактовых сигналов в цифровых системах и сетях являются тактовые генераторы, которые подразделяются на первичный эталонный (ПЭГ), ведомый/вторичный задающий (ВЗГ), генератор сетевого элемента (ГСЭ). Дрожащий цифровой сигнал



UI - Unit Interval, единичный интервал  
(UI p-p)

Рисунок 2.48. Временные диаграммы дрожащего цифрового сигнала и тактовой последовательности, выделенной из идеального цифрового сигнала  
*Первичный эталонный генератор (ПЭГ)* - высокостабильный генератор, долговременное относительное отклонение частоты которого от номинального значения поддерживается не превышающим  $1 \times 10^{-11}$  при контроле по универсальному координированному времени.

*Ведомый задающий генератор (ВЗГ)* - генератор, фаза которого подстраивается по входному сигналу, полученному от генератора более высокого или того же качества. ВЗГ обеспечивает, как правило, высокую кратковременную относительную стабильность частоты (около  $10^{-9} - 10^{-11}$ ) и существенно более низкую относительно ПЭГ долговременную относительную стабильность.

Генератор сетевого элемента (ГСЭ) - синхронизируемый внешним синхросигналом генератор (обычный кварцевый), помещаемый в мультиплексоры ПЦИ, СЦИ, АТМ, кроссовых коммутаторов и т. д. Такты ГСЭ так же подстраиваются под внешние такты, как и в ВЗГ, однако их собственная относительная долговременная стабильность не превышает  $10^{-6}$ . Указанные генераторы имеют следующие иерархические положения по

значимости в тактовой сети синхронизации (ТСС).

1-й или высший уровень иерархии ТСС - ПЭГ (иногда называемый нулевым).

1-й уровень иерархии ТСС-ПЭИ (первичный эталонный источник), не являющийся составной частью ТСС, например, международный навигационный спутник GPS или российский ГЛОНАСС, или ПЭГ другой сети.

2-й уровень иерархии ТСС - ВЗГ, который представляют как транзитный или окончательный и совмещаемый с узлами автоматической коммутации (УАК) и автоматическими междугородными телефонными станциями (АМТС) или цифровыми АТС.

3-й уровень иерархии ТСС - ГСЭ, к которым относятся мультиплексоры СЦИ, кроссовые коммутаторы СЦИ, окончательные цифровые АТС.

Источники тактового синхронизма могут быть включены в определенные сетевые конфигурации и образовывать различные сети ТСС.

Централизованная сеть распределения синхросигналов от единственного ПЭГ. Эта синхронная сеть, в которой значащие моменты сигналов подстраиваются таким образом, чтобы установить синхронизм, при котором значащие моменты повторяются с некоторой средней точностью. Это принудительная синхронизированная сеть.

Совокупность централизованных подсетей, каждая из которых содержит ПЭГ. При отсутствии взаимосвязи между ПЭГ такая сеть синхронизации обеспечивает псевдосинхронный режим работы соответствующих цифровых подсетей.

Плезиохронный режим сети ТСС может возникнуть в цифровой сети, когда генератор ведомого узла (ВЗГ или ГСЭ) полностью теряет возможность внешней принудительной синхронизации из-за нарушения как основного, так и всех резервных путей синхронизации. В этом случае генератор переходит в режим удержания (в англоязычной литературе - holdover), при котором запоминается частота сети принудительной синхронизации. По мере ухода с течением времени частоты генератора из-за дрейфа от величины, зафиксированной в начальный момент в памяти, он переходит в так называемый свободный режим (в англоязычной литературе - free-run mode). Этот режим синхронизации уже называется асинхронным и характеризуется большим расхождением частот генераторов, при котором, однако, еще не нарушается процесс передачи информационной нагрузки в сети связи.

Сеть синхронизации ТСС образуется совокупностью генераторов (ПЭГ, ВЗГ, ГСЭ), системой распределения синхросигналов в узлах связи SASE (Stand Alone Synchronization Equipment - отдельное оборудование синхронизации) или блоки сетевой синхронизации (БСС) и между ними и самими синхросигналами, которые транслируются в определенном порядке.

В качестве синхросигналов в сети ТСС могут применяться следующие сигналы:

- а) цифровой сигнал 2048 кбит/с с кодированием в троичном коде HDB3;
- б) гармонический одночастотный сигнал с частотой 2048 кГц;
- в) гармонический одночастотный сигнал с частотой 10 МГц или 5 МГц и



некоторые другие (8кГц, 64кГц).

Блоки сетевой синхронизации (БСС) или SASE выполняются в соответствии с концепцией построения интегрированных сетей синхронизации, например, в Северной Америке BITS (Building Integrated Timing Supply). Интеграция при построении ТСС предполагает объединение транспортных сетей, сетей доступа, вторичных сетей для поддержки синхронизма. При этом сеть синхронизации должна проектироваться и создаваться как наложенная сеть. Нормирование частоты проскальзываний введено с рекомендации МСЭ-Т G.822 для стандартного цифрового условного эталонного соединения длиной 27500 км основного цифрового канала 64 кбит/с между абонентскими окончаниями. Это соединение представляет собой соединение двух национальных сетей через несколько международных транзитов и насчитывает в общей сложности до 13 узлов и станций (из них пять центров международной коммутации и на каждой национальной сети по третичному, вторичному и первичному центру коммутации).

В таком соединении может происходить:

а) не более пяти проскальзываний за 24 часа в течение 98,9% времени работы;

б) более пяти проскальзываний за 24 часа, но менее 30 за один час в течение 1 % времени работы;

в) более 30 проскальзываний за один час в течение 0,1% времени работы.

Время работы - не менее одного года.

Качество, обозначенное а), соответствует псевдосинхронному режиму сети.

Качество, обозначенное б), оценивается как пониженное качество, при котором сохраняется трафик.

Качество, обозначенное в), считается неудовлетворительным и соответствует нарушению соединения.

Проскальзывания в явной форме отражаются на качестве услуг электросвязи:

- в виде щелчков при передаче телефонии (несжатый сигнал - только 5% проскальзываний вызывает щелчок, сжатый - одно проскальзывание вызывает щелчок);

- искажение текста при факсимильной передаче;

- шум и перерывы связи в сотовых системах;

- остановка кадров изображения при передаче в мультимедийных системах и т. д.

Число проскальзываний, которые возникают из-за ухудшения качества синхронизации, определяется следующей формулой:

Число проскальзываний за 24 часа = (число секунд за сутки) x (число циклов в секунду) x  $(\Delta f / f_0)$ ,

где  $(\Delta f / f_0)$  - точность синхронизации.

Если длительность цикла 125 мкс, цикловая частота равна 8 кГц, число секунд в сутках - 86 400, то число проскальзываний определяется:

$N_{\text{проск}} = 6,9 \times 10^8 \times (\Delta f / f_0)$ .

Это соотношение позволяет определить связь норматива на проскальзывания

и требуемую точность синхронизации. При стабильности тактового генератора  $2 \times 10^{-11}$  число проскальзываний в сутки составит:  
 $N_{\text{просК}} = 13,810^{-3}$ .

т. е., возникнет одно проскальзывание за 72,5 суток, что соответствует требованию рекомендации G.822.

Ниже приведены другие примеры проскальзываний.

Отклонение тактовой частоты $\Delta f / f_0$	Частота проскальзываний
$\pm 1 \cdot 10^{-12}$	один раз за 700 суток
$\pm 1 \cdot 10^{-11}$	один раз за 70 суток
$\pm 1 \cdot 10^{-10}$	один раз за 7 суток
$\pm 1 \cdot 10^{-9}$	один раз за 17 часов
$\pm 1 \cdot 10^{-8}$	один раз за 40 минут
$\pm 1 \cdot 10^{-7}$	через 10 минут
$\pm 1 \cdot 10^{-6}$	через 1 минуту
$\pm 1 \cdot 10^{-5}$	через 6 секунд
$\pm 1 \cdot 10^{-4}$	через 0,6 секунды
$\pm 1 \cdot 10^{-3}$	через 0,06 секунды

## 2.6. Тактовая сетевая синхронизация

### 2.6.1. Нормативы фазовых дрожаний

Нормирование параметров фазовых дрожаний (джиттера и вандера) заключается в том, чтобы:

- исключить накопление джиттера в цепи последовательно соединенного генераторного оборудования сети ТСС;
- обеспечить устойчивость генераторного оборудования к входному джиттеру путем исключения цепи ФАПЧ от высокочастотного шума тактового сигнала;
- не допустить превышения уровня джиттера, генерируемого оборудованием;
- обеспечить фильтрацию джиттера генераторным оборудованием;
- снизить вероятность появления ошибок в цифровых сигналах из-за дрожания фазы;
- устранить неуправляемые проскальзывания из-за переполнения эластичной памяти.

Нормируемые характеристики дрожаний приведены в рекомендациях МСЭ-Т G.823 и G.825 для ПЦИ и СЦИ систем соответственно. Нормирование определено для сигналов ПЦИ: 2,048 Мбит/с; 8,448 Мбит/с; 34,368 Мбит/с; 139,264 Мбит/с, а также для сигналов СЦИ: STM-1, STM-4, STM-16, STM-64. Нормы устанавливаются на следующие характеристики дрожаний фазы:

- максимальное значение дрожаний, которое не должно быть превышено на любом выходном интерфейсе цифровой сети;
- передаточные характеристики дрожаний цифрового оборудования (регенераторов);
- устойчивость к дрожанию фазы входных портов оборудования нормируется нижним пределом амплитуды дрожаний, не приводящим к сбоям и отказам.

Максимальное значение дрожаний фазы контролируется на любом цифровом иерархическом стыке, в том числе, на стыке синхросигнала. Нормативами установлена схема измерений фазовых дрожаний (рисунок 2.49) и предельные показатели дрожаний на интерфейсах ПЦИ и СЦИ (таблицы 2.9, 2.10)

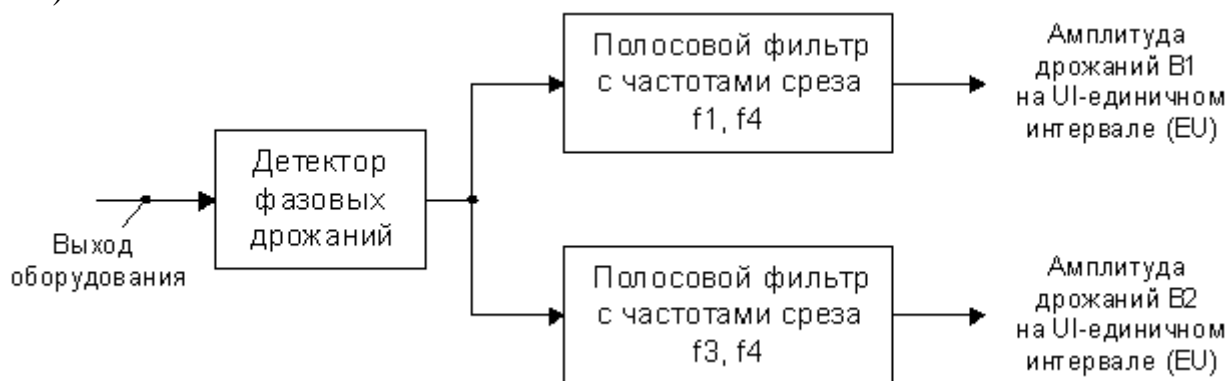


Рисунок 2.49. Схема измерений фазовых дрожаний.

Передаточные характеристики дрожаний цифрового оборудования оцениваются через коэффициент передачи на фиксированной частоте:

$$P = 20 \lg (A_{\text{вых}} / A_{\text{вх}}),$$

где  $A_{\text{вых}}$  и  $A_{\text{вх}}$  - амплитуды фазовых дрожаний на выходе и входе цифрового оборудования.

Нормы приведены в рекомендации МСЭ-Т G.958 для регенераторов СЦИ (таблица 2.11) двух типов (А и В). При этом тип регенератора определяется видом передаточной характеристики. Нормы на регенератор типа В не зависят от скорости передачи.

Для оценки накоплений фазовых дрожаний в цепи регенераторов

рекомендовано использовать следующую формулу:  $A_N = A \times \sqrt[4]{N}$ ,

где,  $A$  - амплитуда дрожаний на выходе одного регенератора,  $A_N$  - дрожания на выходе цепи из  $N$ -регенераторов. При количестве регенераторов, равном 20, амплитуда джиттера увеличивается в 2,11 раза.

Таблица 2.9. Предельные нормы на амплитуду фазовых дрожаний на выходе трактов ПЦИ

Тракт	$f_1$ (Гц)	$f_3$ (кГц)	$f_4$ (кГц)	$V_1$ (UI)	$V_2$ (UI)
64 кбит/с	20	3	20	0,25	0,05
2,048 Мбит/с	20	48	100	1,5	0,2

8,448 Мбит/с	20	3	400	1,5	0,2
34,368 Мбит/с	100	10	800	1,5	0,15
139,264 Мбит/с	200	10	3500	1,5	0,075

Таблица 2.10. Предельные нормы на амплитуду фазовых дрожаний на выходе трактов СЦИ

Тракт	$f_i$ (Гц)	$f_3$ (кГц)	$f_4$ (КГц)	B1(UI)	B2(UI)
STM-1	500	65	1,3	1,5	0,15
STM-4	1000	250	5	1,5	0,15
STM-16	5000	1000	20	1,5	0,15

Таблица 2.11. Нормы на передаточные характеристики регенераторов СЦИ

STM-N тракт Тип регенератора	$f_c$ (кГц)	P(дБ)
STM-1 (A)	130	0,1
STM-1 (B)	30	0,1
STM-4 (A)	500	0,1
STM-4 (B)	30	0,1
STM-16 (A)	2000	0,1
STM-16 (B)	30	0,1

Устойчивость к фазовым дрожаниям на входе оборудования цифровой системы оценивается с помощью неизменного сигнала синхронизации. Нормативы по этому показателю изображены в виде графика на рисунке 2.50 и приведены в таблице 2.12.

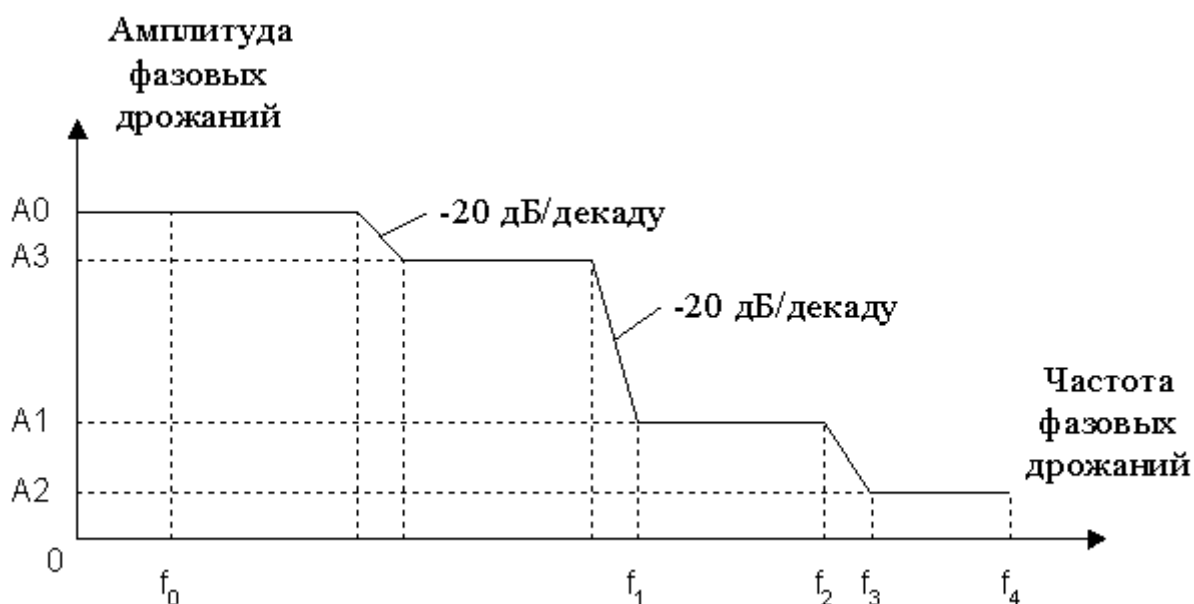


Рисунок 2.50. Нормирование амплитуды фазовых дрожаний для оценки устойчивости по входу цифрового оборудования

Таблица 2.12. Нормативы на устойчивость входных портов ПЦИ

Скорость, кбит/с	Амплитуда (UI)				Частота				
	АО	A1	A2	A3	fo, Гц	f1, Гц	f2, Гц	f3, кГц	f4, кГц
64	1,15	н/д	0,25	0,05	$1,2 \times 10^{-5}$	20	600	3	20
2048	36,9	18	1,5	0,2	$1,2 \times 10^{-5}$	20	2400	18	100
8448	152	н/д	1,5	0,2	$1,2 \times 10^{-5}$	20	400	3	400
34368	618,6	н/д	1,5	0,15	н/д	100	1000	10	800
139264	2506,6	н/д	1,5	0,075	н/д	200	500	10	3500

н/д - нет данных

Из таблицы 2.12 видно, что область выше частоты  $f_1$  является областью джиттера, а в области между частотами  $f_0$  и  $f_1$  находится частота 10 Гц, разделяющая понятия джиттера и вандера. Для любой скорости передачи на сверхнизких частотах ( $1.2 * 10^{-5}$  Гц- период 23 часа) нижняя предельная граница в долях UI имеет разное значение, однако абсолютное значение амплитуды в мкс на всех скоростях совпадает и равно 18 мкс. Это соответствует предельному допустимому значению вандера на интерфейсах цифровой сети, которое определено рекомендациях МСЭ-Т: G.811; G.812; G.813; G.823; G.825.

Нормирование вандера основано на эталонной модели сети синхронизации, представленной в рекомендации МСЭ-Т G.803 и описанной в ряде российских отраслевых документов. Эталонная модель составлена из одного ПЭГ, нескольких ВЗГ и ГСЭ, которые образуют последовательную цепь синхронизации. При этом число ВЗГ в цепи не должно превышать 10, число ГСЭ между двумя ВЗГ не должно быть более 20, общее число ведомых генераторов (ВЗГ+ГСЭ) в цепи не должно превышать 60. Для такой цепи синхронизации суммарное наихудшее значение вандера должно быть не более 18 мкс. Это значение вандера нормативно распределяется согласно G.812 следующим образом:

- вандер между ПЭГ и ВЗГ - 6 мкс;
- вандер между ВЗГ - 4 мкс;
- вандер на выходе ВЗГ - 1 мкс.

При нормировании характеристик ПЭГ (в англоязычной литературе это PRC, Primary Reference Clocks) указывается стабильность частоты долговременная (не хуже  $1 \times 10^{-11}$ ), предельные значения вандера и джиттера, выходные

интерфейсы для сигналов 2048 кГц, 2048 кбит/с, 5 МГц, 10 МГц и другие. При нормировании характеристик ВЗГ (в англоязычной литературе это SRC, Second Reference Clocks) указывается кратковременная (для интервала 1 с) и долговременная стабильности частоты. При этом кратковременная может составлять величину  $2 \times 10^{-12}$ , долговременная – от  $10^{-8}$  до  $10^{-10}$ . Кроме того, определяются параметры времени удержания частоты в случае потери внешнего синхронизма (режим работы ВЗГ, обозначаемый в англоязычной литературе - holdover) - от секунд до нескольких часов.

Характеристики ГСЭ определены нормативами для аппаратуры SDH в рекомендации МСЭ -Т G.813 (обозначение в англоязычной литературе SEC, SDH Equipment Slave Clocks). Собственная долговременная стабильность ГСЭ должна быть не хуже  $4,6 \times 10^{-6}$ . При этом в ГСЭ может быть применен режим удержания (holdover).

ВЗГ и ГСЭ должны иметь нормированную полосу частот захвата внешней ведущей частоты от ПЭГ или ВЗГ более высокой стабильности.

Среди нормируемых параметров ПЭГ, ВЗГ, ГСЭ необходимо указать:

- максимальную ошибку временного интервала (МОВИ) (MTIE, Maximum Time Interval Error), которая показывает максимальное отклонение значащего момента хронизирующего импульса от эталонного на определенном временном интервале измерения;
- девиацию частоты синхросигнала во времени или девиацию времени (ДВИ), или девиацию фазы (TDEV, Time Deviation), которая представляет собой среднеквадратическое отклонение временных интервалов на определенном временном интервале измерения. Эти зависимости считаются основными при анализе качества системы синхронизации.

### **2.6.2. Источники синхросигналов в сетях ТСС и их характеристики**

Источником систем синхронизации (сетей ТСС) подразделяются на два типа: атомные и кварцевые.

Атомные генераторы используют три атомных эталона: рубидий, цезий и водород. Рубидий поглощает микроволновые колебания на частоте 6 834 682 608 Гц, цезий – на частоте 9 192 631 770 Гц, водород – на частоте 1 420 405 751,768 Гц. Они используются в качестве ПЭГ.

Эталон рубидия представляет собой стеклянную колбу, заполненную рубидиевыми парами. Ее нагревают и помещают в микроволновую камеру со стеклянными окошками на торцах. Камера просвечивается рубидиевой лампой. Свет, прошедший через камеру, фиксирует фотоэлемент.

Одновременно на камеру подается модулированный микроволновой сигнал, полученный с помощью стабильного кварцевого генератора. Таким образом, можно точно совместить микроволновый сигнал с резонансной частотой рубидия, т.к. оптическое поглощение газа рубидия изменяется на резонансной частоте. Стабильность частоты генератора на интервале времени 1 с –  $10^{-11}$  ...  $10^{-12}$ , 1 сутки –  $10^{-12}$  ...  $10^{-13}$ , месяц –  $10^{-11}$ . Эталон рубидия требует коррекции, т.к. им присущ недостаток, обусловленный старением. Рубидиевый генератор используется в связи с GPS .

Цезиевые генераторы эталонной частоты не отличаются миниатюрностью и дешевизной. Они представляют собой атомную лабораторию в миниатюре, в которой атомы цезия запускаются из нагреваемой камеры в вакуумную. Эти генераторы представляют собой первичные стандартные эталоны. В соответствии с международными соглашениями цезиевый генератор частоты определяет продолжительность времени в одну секунду. Это продолжительность 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующего переходу атома цезия -133 между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия -133. Стабильность частоты генератора на интервале времени 1 с –  $10^{-11}$  ...  $10^{-13}$ , 1 сутки –  $10^{-13}$  ...  $10^{-14}$ , за год –  $10^{-13}$ . Эталон не требует коррекции.

Водородный эталон - водородный лазер, обладает очень высокой стабильностью на коротких промежутках времени (несколько часов), стабильность оценивается величиной  $10^{-15}$ . Тем не менее, он не заменяет цезиевый эталон из-за долговременного дрейфа.

Кварцевые генераторы подразделяются на три вида: обычные кварцевые, кварцевые с температурной компенсацией ТСХО (Temperature Compensated Crystal Oscillator) и охлаждаемые кварцевые источники ОСХО (Oven Compensated Crystal Oscillator). Они используются в качестве ГСЭ, ВЗГ. Обычные кварцевые генераторы имеют стабильность в интервале времени 1 с –  $10^{-9}$ , в сутки –  $10^{-7}$ , в год  $10^{-6}$ .

Генераторы ТСХО имеют стабильность в интервале времени 1с –  $10^{-9}$  в сутки –  $10^{-8}$ , в год  $10^{-7}$  ...  $10^{-8}$ .

Генераторы ОСХО имеют стабильность в интервале времени 1с –  $10^{-9}$  ...  $10^{-10}$ , в сутки –  $10^{-7}$  ...  $10^{-9}$ , в год  $10^{-9}$  ...  $10^{-11}$ .

Источники тактового синхронизма на основе GPS (Global Position System) - глобальной системы позиционирования (российский аналог ГЛОНАСС). В основе системы лежит использование низкоорбитальных спутников системы NAVSTAR. Одновременно над горизонтом в любой точке земного шара наблюдаются минимум три спутника. На спутниках размещаются цезиевые стандарты, которые генерируют сигналы заданного вида. Особенностью синхросигнала, генерируемого приемником от GPS, является его высокая долговременная стабильность и низкая кратковременная стабильность, которая зависит от количества спутников.

Источники тактового синхронизма ПЭГ и ВЗГ имеют достаточное число выходов синхросигналов. Однако для подключения синхросигналов с выходов мультиплексоров необходимо использовать аппаратуру разветвления сигналов синхронизации (АРСС). В состав АРСС входят блоки усилителей 2048 кГц, усилителей 2048 кбит/с, преобразования – передачи сигнала с одной тактовой частоты на другую.

### **2.6.3. Распределение тактового синхронизма в цифровых сетях связи**

Распределение тактового синхронизма в цифровой сети осуществляется от базовой сети ТСС. На территории России базовую сеть синхронизации образует сеть ОАО Ростелеком. Базовая сеть представлена различными регионами синхронизации: Дальневосточный (Хабаровский), Сибирский

(Новосибирский), Центральный (Московский), Южный (Ростовский), Северо-западный (С.-Петербургский). Каждый регион оснащается ПЭГ. Доставка синхросигналов от ПЭГ по основным и резервным линиям ко всей аппаратуре систем передачи и коммутации, передающейся в синхронизации, осуществляется с помощью аппаратуры ПЦИ и СЦИ и по физическим линиям.

Синхронизация, передаваемая в системах ПЦИ, - это сигнал 2048 кбит/с с тактовой частотой, соответствующей по стабильности частоте ПЭГ. По системам ПЦИ сигнал 2048 кбит/с, несущий синхροинформацию, может передаваться в оба направления.

В системах СЦИ передача синхροинформации с помощью компонентных сигналов 2048 кбит/с не рекомендована из-за возможных значительных скачков фазы компонентных сигналов при согласовании указателей мест их расположения в линейном сигнале STM-N.

Носителем синхροинформации в системах СЦИ является непосредственно линейный сигнал STM-N ( $N = 1, 4, 16, 64$ ).

При распределении тактового синхронизма внутри регионов используется принцип принудительной иерархической синхронизации (ведущий - ведомый) от ПЭГ к генераторам сетевых элементов аппаратуры СЦИ, АМТС и т.д. Базовая сеть ТСС обеспечивается резервирование синхросигналов, которая создается как резервными генераторами и взаимным резервированием регионов, так и маршрутами доставки синхροинформации. Для подключения различных операторов цифровых сетей к базовой сети синхронизации предложено рассматривать четыре класса присоединения:

- 1-й класс - сеть оператора получает сигнал синхронизации через пассивные соединительные линии от ПЭГ базовой сети ТСС;
- 2-й класс - сеть оператора получает сигнал синхронизации от ВЗГ;
- 3-й и 4-й классы - сеть оператора получает сигнал синхронизации от ГСЭ.

Внутри каждого региона сеть принудительной синхронизации должна строиться по иерархическому принципу в виде древовидной схемы (радиально-узловой), исключающей возможность образования петель синхронизации в любой ситуации. В качестве ведомых генераторов на АМТС, АТС и т.д. могут использоваться блоки, встроенные в аппаратуру коммутации. На узлах и станциях, на которых кроме АМТС, АТС и т.д. установлено другое оборудование, нуждающееся в синхронизации (аппаратура кроссирования, оперативного переключения и т.д.), в качестве ведомых генераторов, которые синхронизируют все оборудование на данном узле, должны использоваться выделенные ведомые задающие генераторы, соответствующие рекомендации МСЭ -Т G.812. При этом каждый ВЗГ должен иметь альтернативные входы синхронизации.

На магистральной сети СЦИ для фильтрации фазовых дрожаний через  $n$  ( $n \leq 20$ ) промежуточных генераторов ГСЭ также должны устанавливаться ВЗГ, соответствующие рекомендации МСЭ -Т G.812. Максимальное число ВЗГ в пределах региона в одной цепи синхронизации не должно превышать



10. ВЗГ могут отличаться собственной стабильностью тактовой частоты и полосой частот захвата внешнего синхронизма. Указанные числа для ВЗГ и ГСЭ в цепочке синхронизации практически трудно выполнить.

Для переноса синхроинформации на местной сети могут использоваться сигналы систем ПЦИ и СЦИ.

Городские телефонные сети должны синхронизироваться от генератора цифровой АМТС. При этом в качестве резервной выбирается одна из АТС. При районированной ГТС с узлами входящих и исходящих сообщений синхронизация всех станций узлового района осуществляется от АМТС по трактам первого выбора. Резервными ведущими станциями каждого узлового района является узел и одна из РАТС. На этих станциях устанавливаются блоки сетевой синхронизации. Сельская телефонная сеть должна синхронизироваться от задающего генератора АМТС.

#### 2.6.4. Система показа елей качества и приоритетов в сети ТСС

Система показателей качества и приоритетов используется в сети ТСС, построенной на основе сети СЦИ. Для системы показателей качества в заголовке STM-N предусмотрен байт S1, в котором от ГСЭ к ГСЭ может транслироваться сообщение о качестве синхросигнала, переносимого STM-N. В таблице 2.13 приведены значения показателей качества, определенные в рекомендации МСЭ-Т G.707 (1996).

Таблица 2.13. Показатели качества синхронизма

Уровень качества	Содержимое байта S1	Число	Показатель стабильности	Источник сигнала
Q1	xxxx0010	2	$\leq 1 \times 10^{-11}$	ПЭГ (G.811)
Q2	xxxx0100	4	$\leq 1 \times 10^{-9}$ в сутки	ВЗГ (G.812) транзит
Q3	xxxx1000	8	$\leq 2 \times 10^{-8}$ в сутки	ВЗГ (G.812) локальн.
Q4	xxxx1011	B	$\leq 4,6 \times 10^{-6}$	ГСЭ (holdover или free run)
Q5	xxxx0000	0	—	качество неизвестно
Q6	xxxx1111	F	—	не использовать

Следует отметить, что последняя редакция рекомендации МСЭ-Т G.704 (1996) предусматривает возможность размещения сообщения об уровне качества в заголовке цикла сигнала 2048 кбит/с.

Учитывая, что ГСЭ и ВЗГ имеют несколько входов для внешних синхросигналов, качество которых может быть независимым и одинаковым, вводится система приоритетов. Уровень приоритета определяется его номером. Чем меньше номер, тем выше приоритет. Число приоритетов может

быть от 0 до 254. Приоритет отмечается в таблице, размещаемой в памяти контроллера ГСЭ.

Первым приоритетом обычно устанавливается сигнал синхронизации, поступающий от ПЭГ по самому короткому и качественному маршруту, где по пути следования синхросигнала установлено как можно меньше промежуточных ВЗГ.

Вторым приоритетом для основного оборудования узла или станции может служить сигнал синхронизации, поступающий от ПЭГ по другому маршруту, чем сигнал первого приоритета.

ВЗГ и ГСЭ могут принимать синхросигналы 3-го и 4-го приоритетов и т.д. Последним из приоритетов в любом оборудовании синхронизации является собственный генератор, работающий в режиме запоминания частоты синхросигнала (holdover) и свободных колебаний (free run). Приоритетом можно запретить использование входа синхронизации.

Система приоритетов и качества направлена на повышение надежности сетей ТСС.

#### **2.6.5. Источники синхронизации для сетевого элемента СЦИ и интерфейсы**

На рисунке 2.51 представлена схема с обозначением возможных источников синхронизации ГСЭ.

Технические характеристики внешних интерфейсов синхронизации (Т3, Т4) приведены в таблицах 2.14, 2.15. Они соответствуют рекомендации МСЭ-Т G.703. Внутренние интерфейсы аппаратуры определяет производитель оборудования. Это частоты 38,88 МГц, 19,44 МГц и другие, транслируемые по шине синхронизации.

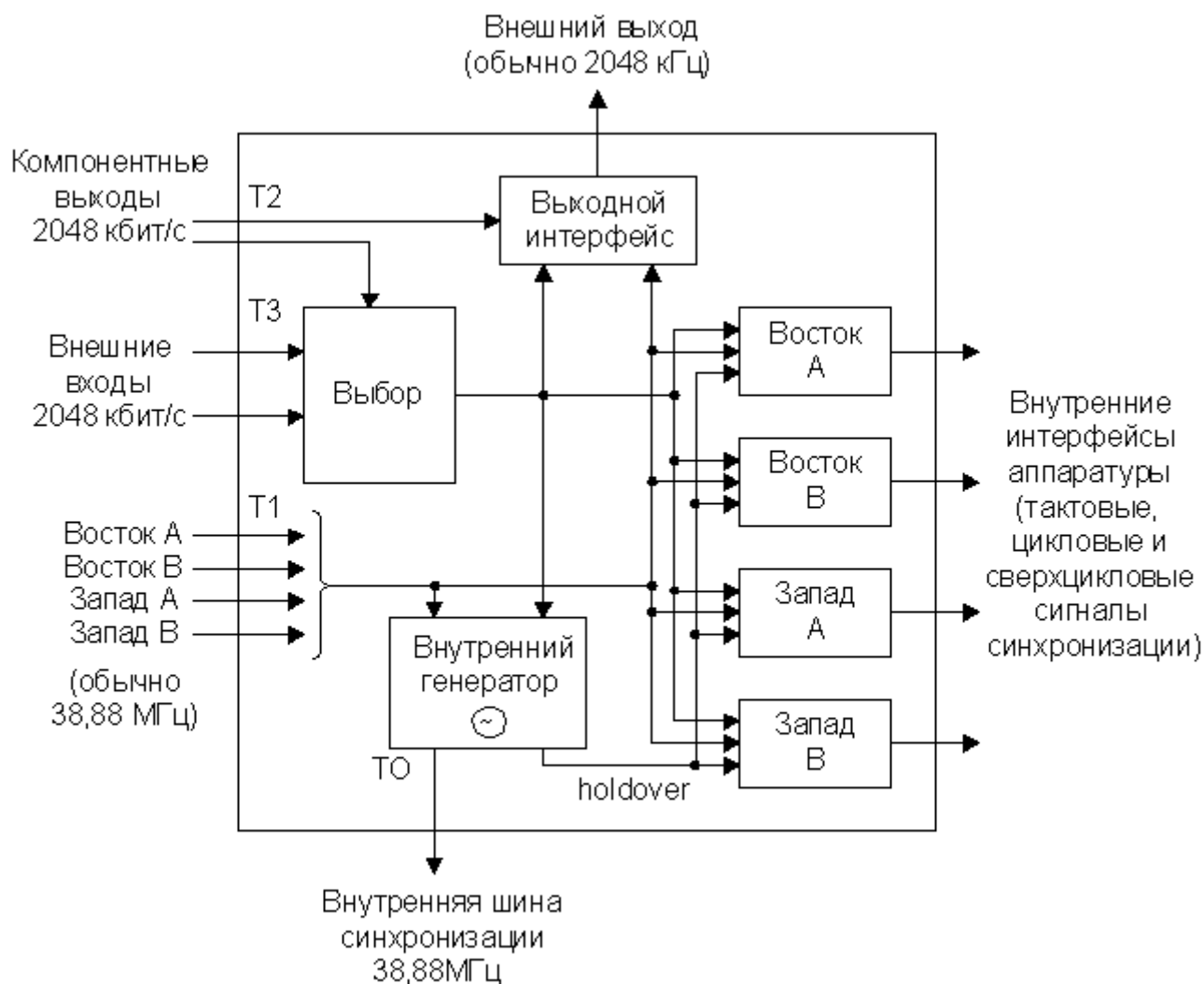


Рисунок 2.51. Источники синхронизации аппаратуры СЦИ

Таблица 2.14. Характеристики интерфейса Т3 (входы)

Параметр	Номинал
Сетевой тактовый сигнал	2048 кГц $\pm 50$ ppm
Входное сопротивление	120 Ом, активное, симметричное или 75 Ом несимметричное
Возвратные потери	$\geq 15$ дБ
Номинальный уровень	1,0 В (+0,9/-0) В
Затухание входного сигнала по сравнению с номинальным уровнем	0...6 дБ

Таблица 2.15. Характеристики интерфейса Т4 (выход)

Параметр	Номинал
Сетевой тактовый сигнал	2048 кГц $\pm 50$ ppm

Маска импульса	соответствует рекомендации МСЭ-Т G.703
Входное сопротивление	120 Ом, активное, симметричное или 75 Ом несимметричное
Выходное напряжение	1,5 В $\pm$ 20%
Максимальное допустимое фазовое дрожание	0,05 UI в диапазоне частот 20Гц...100кГц

### 2.6.6. Примеры распределения синхронизма в различных конфигурациях сети ТСС

Распределение синхронизма в линейной сети ТСС показано на рисунке 2.52.

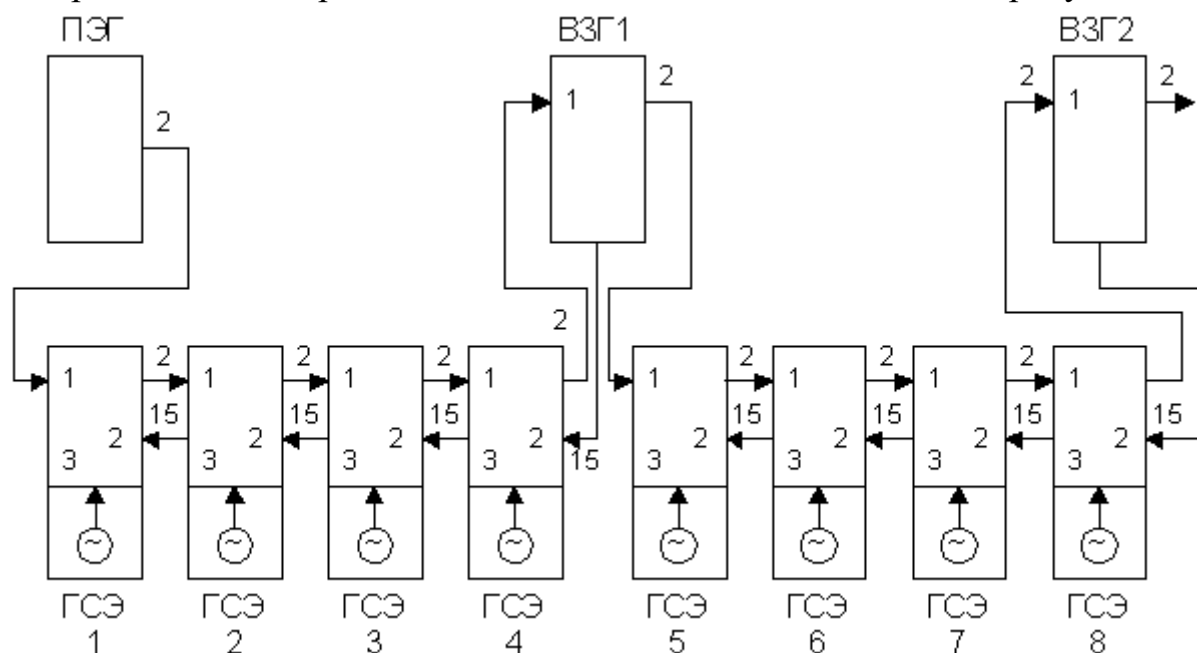


Рисунок 2.52. Распределение синхронизма в линейной сети ТСС

На рисунке обозначены показатели качества и приоритеты. Показатели качества отмечены у направлений в цепи передачи синхронизма (у стрелочек). Приоритеты проставлены внутри каждого сетевого элемента (перед стрелочкой).

В системе обозначений показателей качества часто применяется обозначение двойного толкования согласно таблице 2.13.

Обозначение Q1 соответствует наивысшему качеству источника синхронизма и обозначение числом 2 (шестнадцатеричный код) обозначается также высшее качество источника.

При разработке проектов ТСС рекомендуется придерживаться какой-либо одной системы обозначений.

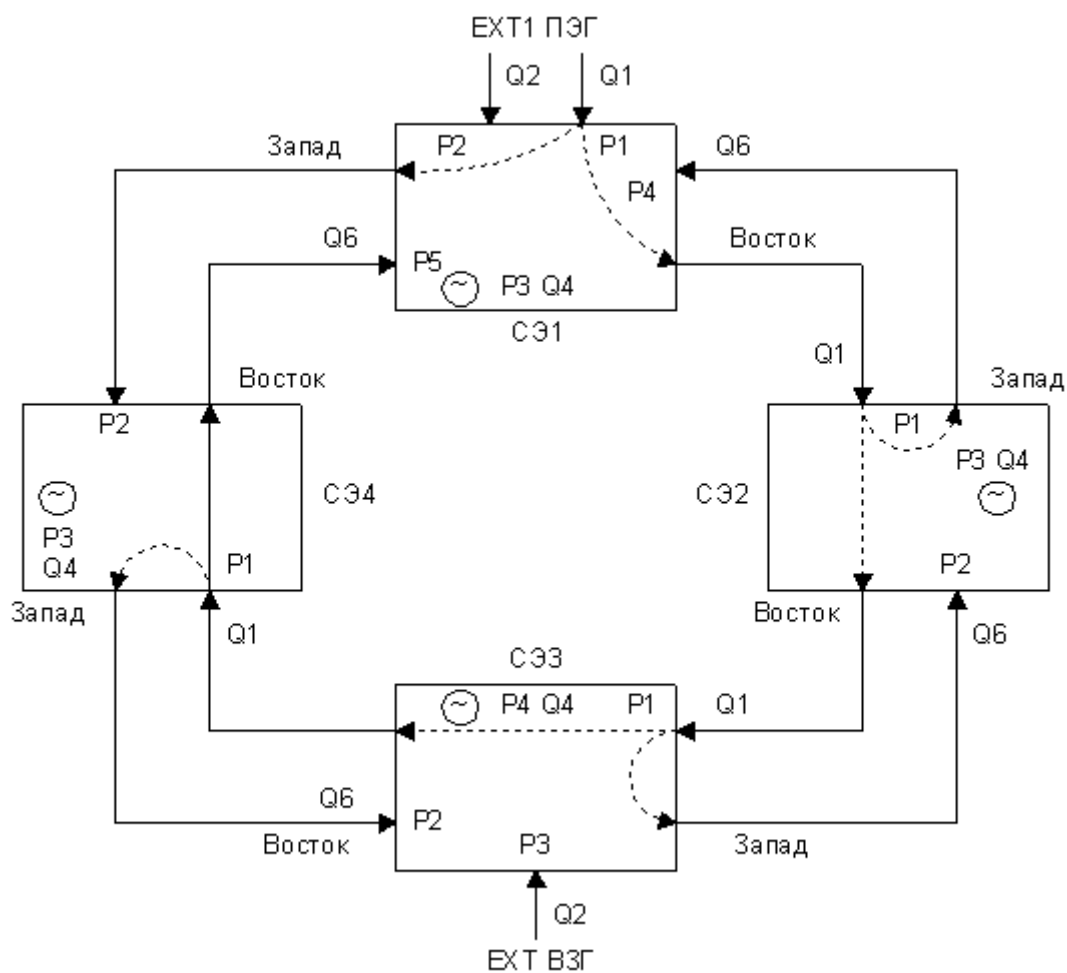


Рисунок 2.53. Распределение тактового синхронизма в кольцевой транспортной сети

На рисунке 2.53 представлена схема распределения синхронизма в кольцевой транспортной сети.

В схеме кольцевой сети распределения тактового синхронизма применена другая распространенная система обозначений показателей качества (Q1, Q2, Q3, Q4...) и приоритетов (P1, P2, P3,...). Синхронизм от внешнего источника (EXT-ПЭГ) распределяется в направлении с запада на восток по кольцу. Участок замыкания, прилегающий к первому сетевому элементу (СЭ), защищается от замыкания петли синхронизации через установку приоритета западного входа в последнее состояние (P15 - не использовать для синхронизации).

Альтернативным источником синхронизма в этой сети может быть EXT ВЗГ, который имеет более низкий показатель качества Q2 и входу в СЭЗ, где подается этот синхросигнал, присвоен более низкий приоритет использования P3. Для самых трудных с точки зрения синхронизации ситуаций предусмотрено использование внутренних тактовых генераторов СЭ, которые имеют самый низкий показатель качества Q4 и приоритет использования.

Для каждого сетевого элемента можно рекомендовать составление таблицы назначения приоритетов (пример - таблица 2.16).

Таблица 2.16. Распределение приоритетов для синхросигналов в сетевом

элементе

Вход тактового синхронизма	Источник синхронизма	Приоритеты входов							
		1	2	3	4	5	...	15	
ЕХТ	ПЭГ, $1 \times 10^{-11}$	+							
Агрегатный сигнал STM-N (Запад)	ПЭИ, $1 \times 10^{-11}$		+						
Агрегатный сигнал STM-N (Восток)	ПЭИ, $1 \times 10^{-11}$			+					
Компонентный сигнал 2 Мбит/с	АМТС (ВЗГ), $2 \times 10^{-8}$				+				
Собственный тактовый генератор (ГСЭ)	ГСЭ, $4,6 \times 10^{-6}$					+			
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...

Таблица 2.16 отражает основное рабочее состояние сетевого элемента в сети синхронизации. Таблица останется неизменной и в случае нарушения схемы распределения синхронизма, которая будет определяться, прежде всего, показателями качества, и только при одинаковых показателях в сетевом элементе вводится в действие указанная таблица.

### 2.6.7. Основные принципы восстановления ТСС

Одним из главных требований при организации ТСС является наличие альтернативных источников синхронизма для каждого сетевого элемента. Для выбора источника синхросигнала необходим определенный алгоритм, который должен учитывать структуру ТСС и весь характер распределения сигналов. Для формирования такого алгоритма должен соблюдаться ряд принципов:

- при восстановлении синхронизации сети необходимо избегать формирования замкнутых петель, т.е. ни один из хранирующих источников не должен синхронизироваться своим собственным сигналом (такие петли нестабильны и приводят к уходу частоты тактового генератора от номинального значения); - если тактовый генератор работает в режиме удержания, он не должен служить эталоном для хранивающего источника более высокого -уровня качества;
- каждый сетевой элемент должен синхронизироваться от хранивающего источника более высокого уровня качества, чем уровень ГСЭ;
- должно быть наличие небольшого (ограниченного) числа источников.

### 2.6.8. Методы восстановления синхронизации сети

Известно несколько методов восстановления нарушенного тактового синхронизма:

- ручное переключение источников синхронизма;
- использование системы управления сетью;
- метод приоритетных таблиц;
- метод сообщения о статусе синхросигнала.

Ручное переключение источников синхронизма применяется только в узлах, которые имеют собственные высокостабильные тактовые генераторы (не ниже качества Q2). Такое переключение очень длительно, т.к. требуются согласования для принятия решения. Достоинство метода состоит в том, что оператор легко разбирается с общей топологией сети и принимает решение без использования сложного и дорогостоящего программного обеспечения. Недостаток - необходимость установления связи с экспертами сети, длительный временной интервал принятия решения.

Восстановление синхронизма при помощи системы управления (программы сетевого менеджера). Это путь автоматизированного решения проблемы, исключаящий оператора - человека из принятия решения. Это ускорение процесса (сокращение с часов до минут) переключения. Недостаток метода состоит в высоких затратах на решение целого ряда технических и организационных задач по разработке алгоритмов управления. Метод применим в сетях с распределенными ПЭГ в которых несколько хранирующих источников располагаются в различных сетевых узлах и любой из них может взять на себя функции основного.

Методы восстановления синхронизма на основе таблиц приоритетов и сообщений о статусе синхронизма отличаются от выше рассмотренных высоким быстродействием. При этих методах переключения синхросигналов происходят за время менее одной секунды. Быстрое переключение предполагает, что у ГСЭ с невысокой стабильностью (около  $10^{-6}$ ) в режиме удержания уход фазы не превысит 1 мкс.

Идея метода таблиц приоритетов рассмотрена выше. В синхронизируемом СЭ сигнал с наивысшим приоритетом выбирается в качестве основного. При этом остальные находятся в ожидании. Переключение происходит после исчезновения основного сигнала синхронизации из-за пропадания сигнала на линейном (агрегатном) интерфейсе, потери цикла передачи, при сигнале аварийного состояния или других отказах сети. Переключение на резервный синхросигнал возможно и в случае ухода фазы или частоты опорного сигнала. Переключение может быть реализовано с возвратом или без него (т.е. с ручным обратным восстановлением источника синхронизма).

Достоинство метода приоритетных таблиц состоит в его относительной простоте и высокой скорости переключения. Кроме того, принятие решения о переключении на резерв принимается только в одном узле на основе собранной информации о качестве синхронизма. При этом нет необходимости задействовать систему управления сетью.

К недостаткам метода следует отнести недостаточную гибкость в поддержке различных сетевых топологий (кольцевые, сложные линейные, ячеистые) с

большим числом промежуточных ГСЭ.

Места применения метода приоритетных таблиц: коммутаторы, кроссовые узлы на пересечении ячеистых сетей, в ПЦИ сетях, работающих внутри СЦИ сетей.

Идея метода показателей качества рассмотрена выше. Преимущества этого метода по сравнению с методом приоритетных таблиц заключается в том, что он может применяться в сетях с любой топологией. Метод, основанный на сообщениях о статусе синхронизации, может рассматриваться как дополнение к предыдущему, поскольку обеспечивает в каждом узле сети дополнительную информацию, которая поступает в форме сообщений в заголовках сигналов STM-N или E1. Эти сообщения позволяют по-разному реагировать в сетевых элементах на различные ситуации. При этом не требуется использование системы управления. Таким образом, метод приоритетных таблиц и метод сообщений о статусе являются мощными средствами для автоматического восстановления синхронизации в сети связи. Они позволяют предотвратить создание замкнутых петель синхронизации и нарушение иерархии уровней качества хронизирующих источников.

### 2.6.9. Примеры восстановления тактового синхронизма

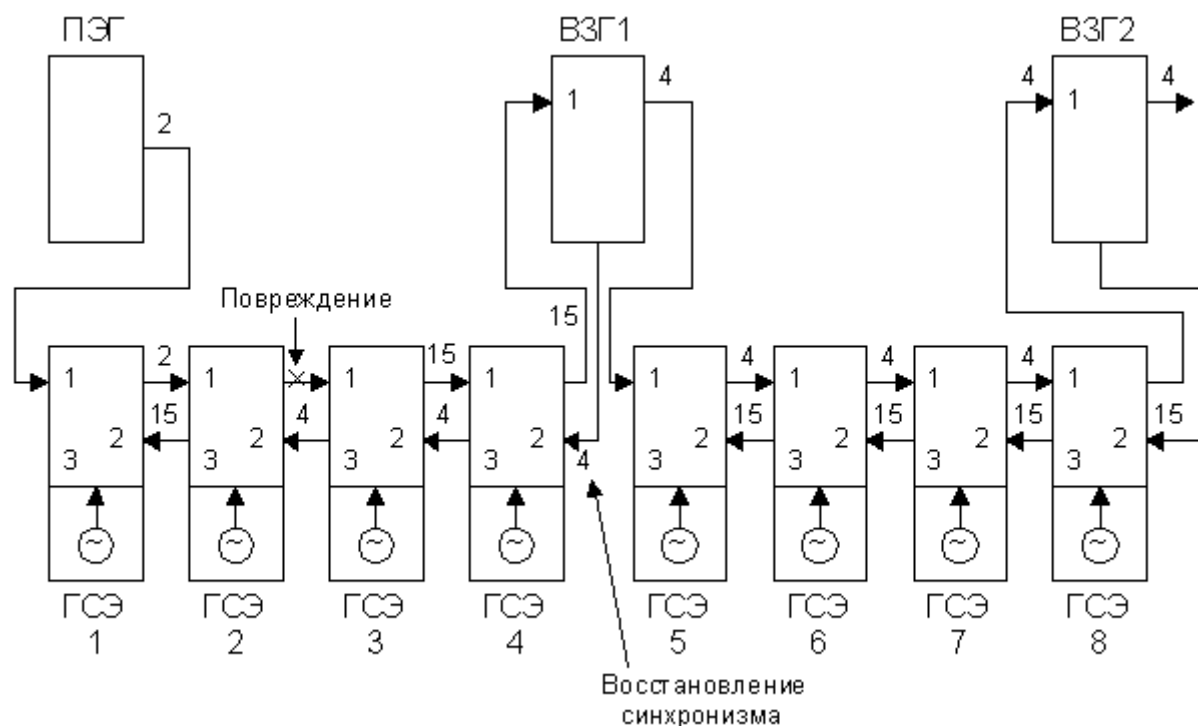


Рисунок 2.54. Схема восстановления тактового синхронизма в линейной цепи. Пример восстановления цепи синхронизации приведен в схеме на рисунке 2.54 который повторяет цепочечную конфигурацию сети передачи, изображенную на рисунке 2.52.

На рисунках 2.55...2.57 представлена динамика изменений в сети синхронизации, обслуживающей кольцевую транспортную сеть СЦИ. Необходимые пояснения приведены на схемах. Эти примеры базируются на схеме рисунка 2.53 и сохраняют другую (вторую) систему условных обозначений статуса синхронизации.



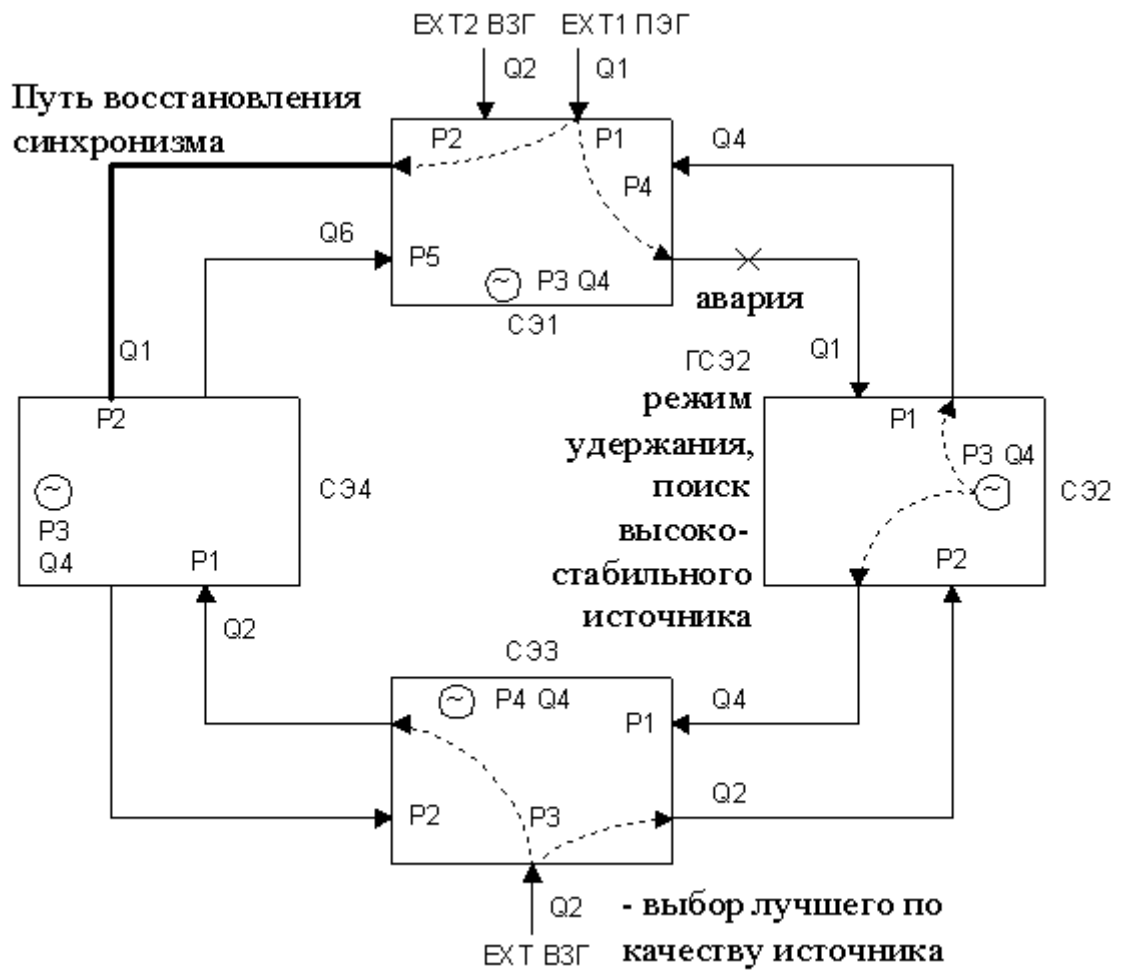


Рисунок 2.55. Аварийное состояние синхронизации

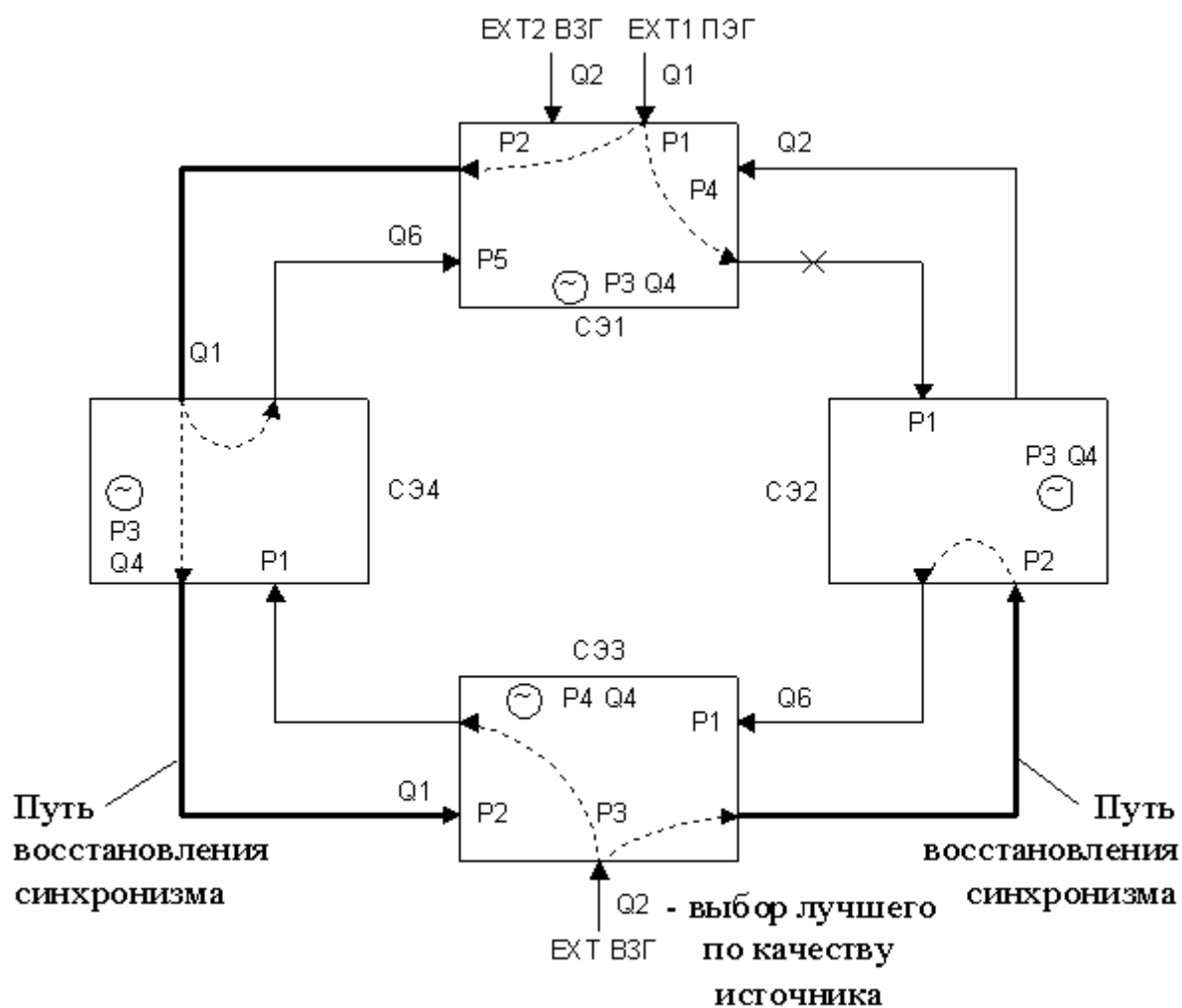


Рисунок 2.56. Состояние изменения маршрута синхронизации

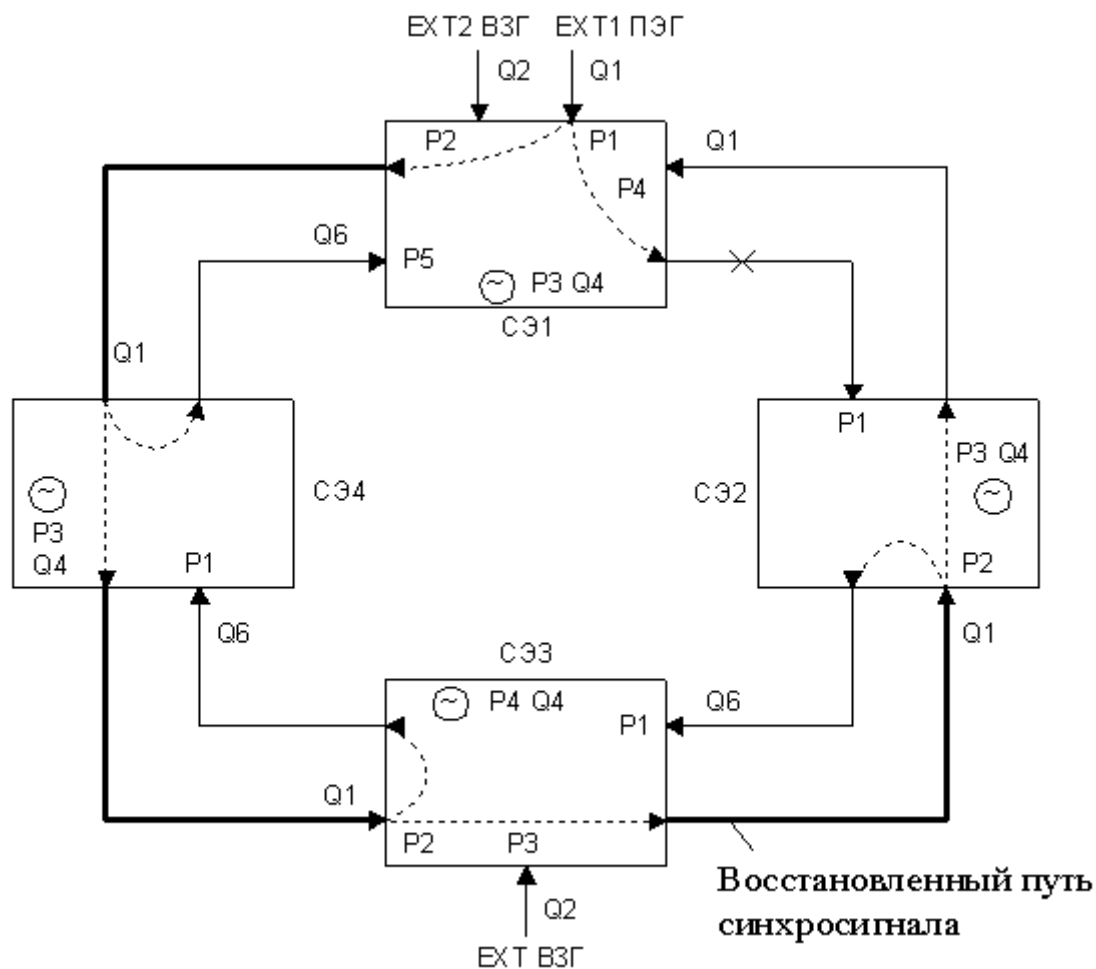


Рисунок 2.57. Конечное состояние восстановления синхронизации в кольцевой сети

### 2.6.10. Ресинхронизация в транспортной сети

Ресинхронизация сигналов 2 Мбит/с в транспортной сети (ретайминг) на основе SDH используется для трансляции тактового синхронизма в местные сети. При поступлении сигнала 2 Мбит/с в транспортную сеть SDH происходит его упаковка в VC12. Далее происходит выравнивание VC12 в TU12 и в контейнерах высшего порядка (VC4/3), а затем их передача через сеть. Во время передачи через сеть SDH может происходить сдвиг VC12 в TU12. Таким образом полезная нагрузка может “плавать” в пределах TU12. По этой причине информация о фазе сигнала 2 Мбит/с внутри VC12 не может использоваться. Для устранения фазовой неопределенности тактов 2 Мбит/с сигнала производится ресинхронизация.

Для синхронизации сигнала 2 Мбит/с с частотой ПЭГ в сети SDH выполняется распаковка VC12 и сохранение сигнала в эластичном буфере. Из него выполняется пересылка, и тогда ресинхронизированный сигнал будет переносить частоту ПЭГ. После этого он может использоваться в качестве опорного синхросигнала за пределами сети SDH. На рисунке 2.58 представлена диаграмма ресинхронизации.

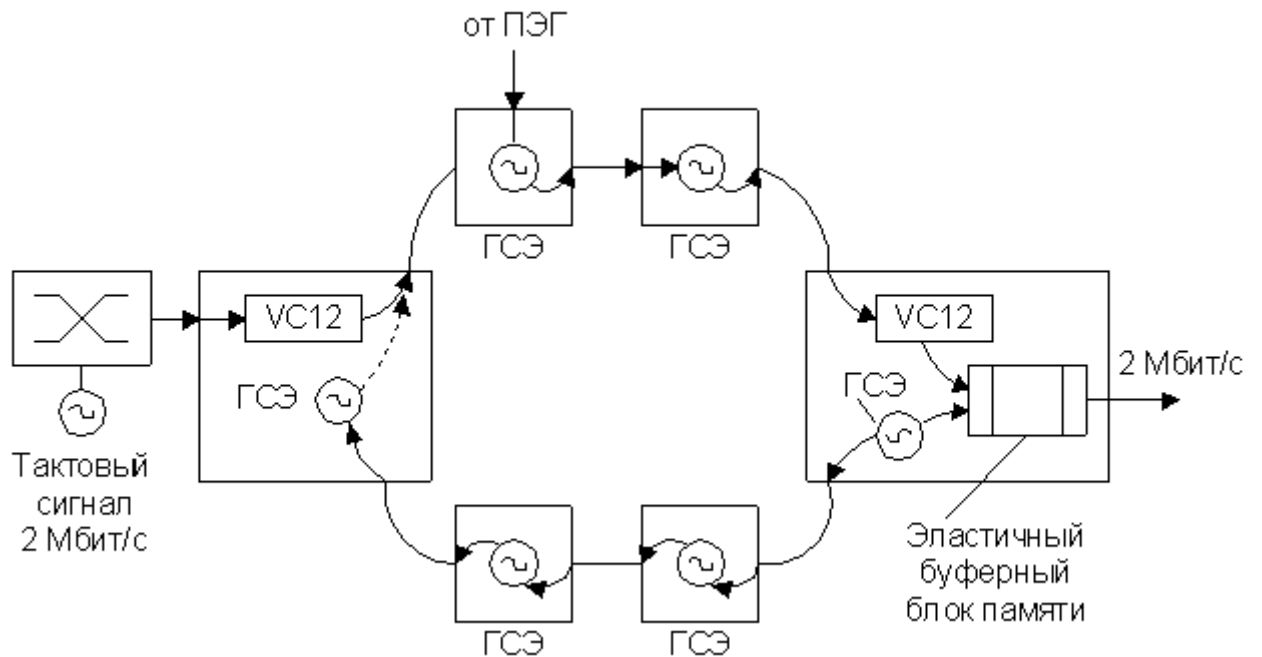


Рисунок 2.58. Ресинхронизация сигнала 2 Мбит/с

## 2.7. Управление транспортными сетями

### 2.7.1. Общие принципы управления телекоммуникационными сетями

Развитие систем управления телекоммуникационными сетями обусловлено рядом причин:

- сети связи становятся сложными и все более неоднородными по структуре (транспортные, доступа, мобильные и т.д.) и по используемым средствам;
- все большее развитие получают локальные и метропольные вычислительные сети, которые должны выходить на сети общего пользования;
- появилось большое количество компаний, оказывающих телекоммуникационные услуги, которые должны соответствовать определенным показателям качества (стандарт ISO 9000);
- требуется высокая надежность информационных и телекоммуникационных сетей для обслуживания нужд государства и отдельных компаний (транспортировка грузов, финансовых учреждений, образование, наука и т.д.);
- рост объемов информационного обмена между странами, создание межнациональных сетей связи.

По этим причинам МСЭ-Т разработал серию рекомендаций под общим индексом М.3х, в которой излагаются общие и детальные принципы планирования, функционирования и технического обслуживания сети управления электросвязью TMN (Telecommunications Management Network). Сеть TMN обеспечивает функции управления для сетей телекоммуникаций и услуг этих сетей и предлагает электросвязь между ею самой и сетями связи и их услугами (рисунок 2.59).

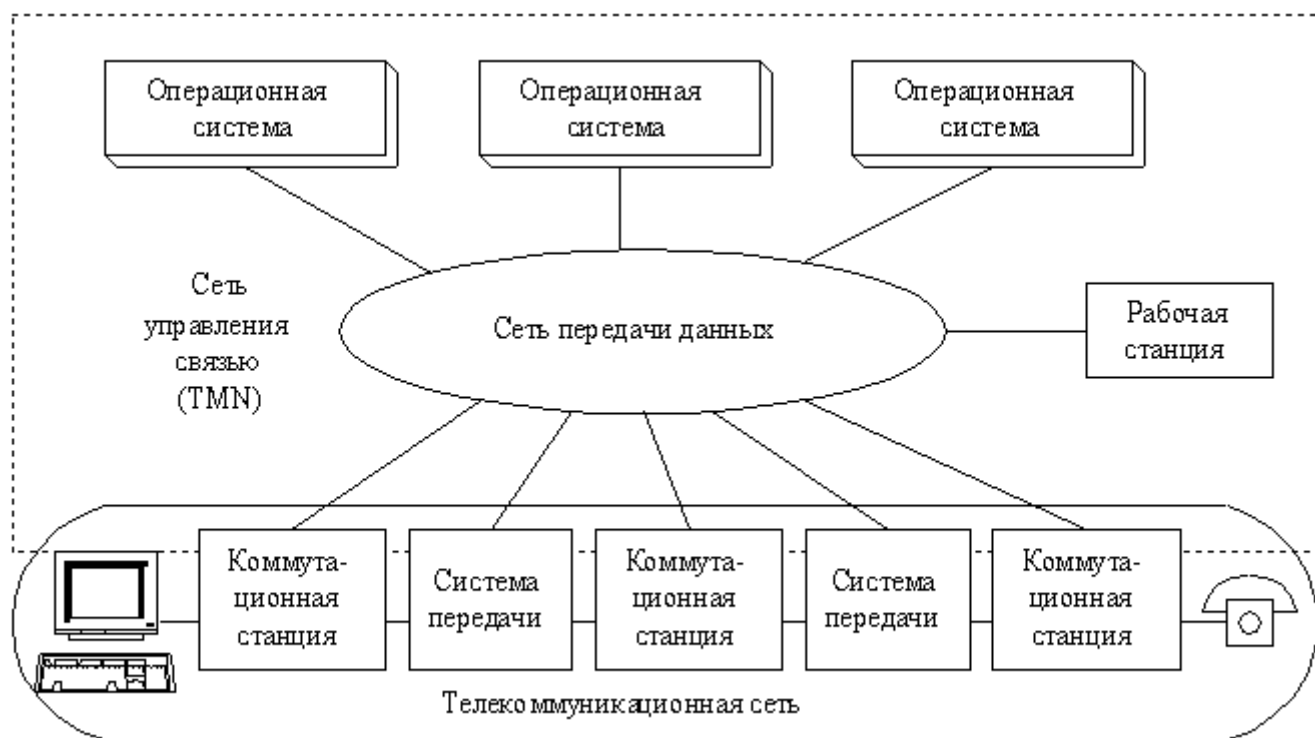


Рисунок 2.59. Взаимосвязь между сетью TMN и сетью электросвязи.

Ниже приведены примеры сетей телекоммуникаций и услуг электросвязи, а также типов аппаратуры которыми может управлять TMN:

- сети общего и частного пользования, включая цифровые (У–ЦСИС, Ш–ЦСИС), сети подвижной связи, частные (корпоративные) телефонные сети, виртуальные сети и интеллектуальные сети, транспортные, доступа;
- сама сеть TMN может быть управляемой;
- аппаратура передачи PDH, SDH, ATM, OTN (мультиплексоры, кроссовые коммутаторы, усилители, транспондеры и т.д.);
- цифровые и аналоговые системы передачи (волоконно-оптические, радиорелейные, спутниковые, кабельные);
- системы восстановления (резервирования);
- операционные системы и их периферия;
- центральные, интерфейсные процессоры, контроллеры, файловые процессоры и т.д.;
- цифровые и аналоговые коммутационные станции;
- локальные, метропольные, глобальные компьютерные сети;
- сети с коммутацией каналов и пакетов;
- терминалы и системы сигнализации, включая транзитные пункты сигнализации и базы данных реального времени;
- учрежденческие АТС и терминалы пользователей;
- терминалы пользователей У–ЦСИС и Ш–ЦСИС;
- взаимодействующие вспомогательные системы (электропитание, кондиционеры, сигнализация и т.д.).

При управлении этими сетями операционные системы производят обработку всей информации, необходимой для выполнения функций управления.

Рабочие станции обеспечивают пользовательский, как правило графический,

интерфейс, посредством которого обслуживающий персонал взаимодействует с сетью управления.

Сеть передачи данных предназначена для организации связи между сетевыми элементами, аппаратными системами и другими устройствами сетей управления.

Как не трудно заметить, TMN является самостоятельной сетью, имеющей интерфейсы с сетью электросвязи в нескольких точках для получения информации и управления ее работой. В некоторых случаях, например в SDH сети, TMN использует каналы управляемой сети.

Концепцией TMN предусмотрено иерархическое построение системы управления, которая имеет пирамидальную форму (рисунок 2.60).



Рисунок 2.60. Уровни управления в TMN.

TMN содержит следующие уровни:

- сетевые элементы;
- управление сетевыми элементами;
- управление сетью;
- управление услугами;
- административное управление.

Самый нижний уровень это управляемая сеть со всеми ее ресурсами и состояниями. Каждый выше лежащий уровень управления имеет более высокую степень обобщения информации управления чем ниже лежащий. Информация для управления следует вверх, а вниз поступают управляющие воздействия.

Как правило, чем выше уровень управления, тем ниже его степень автоматизации.

- Уровень управления элементами сети включает в себя контроль,

отображение параметров функционирования, техническое обслуживание, конфигурирование применительно к отдельным устройствам сети (например, мультиплексорам, базовым станциям, коммутаторам) или их группам. Функции этого уровня управления, иногда называемого нулевым, могут быть выполнены с использованием графического терминала, стыкуемого непосредственно с сетевым элементом или стыкуемого удаленно, т.е. сеть передачи данных.

- Уровень сетевого управления обеспечивает охват функциями управления группы сетевых элементов, составляющих во взаимосвязи единую сеть со всеми ресурсами. Например, транспортная сеть с секциями, трактами, каналами, средствами резервирования.
- Уровень управления услугами поддерживает предоставление услуг электросвязи пользователям, т.е. в отличие от ниже расположенных уровней нацелен на потребителей услуг связи. Ключевым фактором на этом уровне является обеспечение качества услуг, привлечение потребителей новыми услугами.
- Уровень административного управления предназначен для поддержки функционирования компании-оператора сети связи. На этом уровне решаются проблемы инвестиций, проектов развития, кадровые вопросы, взаимодействие с другими операторами, органами государственного управления и т. д.

В значительной степени отработаны задачи управления на первых двух уровнях (сетевых элементов и сети) и совершенствуются методы и средства управления услугами. Существенной подвижки в автоматизации административного уровня управления не наблюдается. Все функции управления в телекоммуникациях условно принято разбивать на общие и прикладные.

Общие функции управления состоят в поддержке прикладных и включают в себя сбор, обработку, хранение информации управления, выдачу этой информации по запросу, отображение в удобном формате, например, на графическом терминале.

Прикладные функции управления, определенные ISO, делятся на пять групп:

- управление конфигурацией ( сетевого элемента, сети, услуг);
- управление качеством работы ( сетевого элемента, сети, услуг);
- управление устранением неисправностей ( сетевого элемента, сети, услуг);
- управление расчетами (техническими, бухгалтерскими);
- управление безопасностью ( сетевого элемента, сети, услуг).

Для реализации функций управления в сети TMN рекомендовано рассматривать три архитектуры управления, которые при планировании и разработке сети TMN должны рассматриваться отдельно.

Эти архитектуры называются: функциональная, информационная и физическая.

Функциональная архитектура основана на ряде блоков функций TMN. Эти

блоки поддерживают общие функции управления TMN.

Для переноса информации между блоками функций используется функция передачи данных. Пары блоков функций TMN разделены опорными точками (рисунок 2.61).

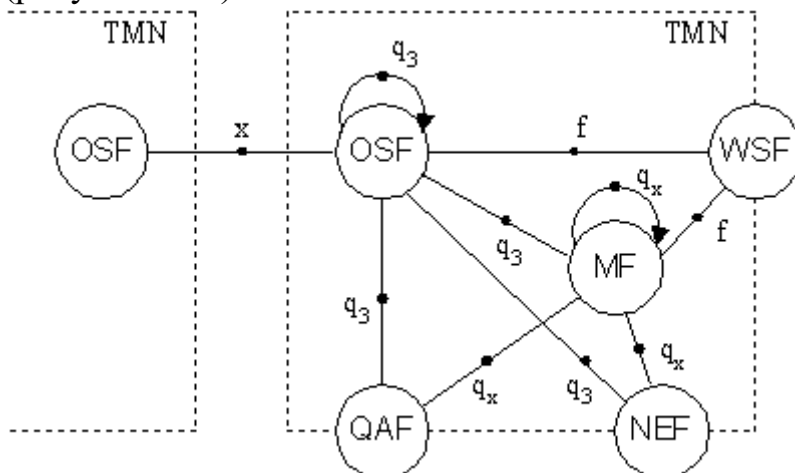


Рисунок 2.61. Функциональная архитектура TMN.

Основные составляющие функциональной архитектуры TMN:

- NEF, Network Element Function – функции сетевого элемента;
- QAF, Q-Adapter Function – функции Q-адаптера;
- MF, Mediation Function – функции медиатора (промежуточного устройства);
- OSF, Operations System Function – функции операционной системы сети управления;
- WSF, Work Station Function – функции рабочей станции сети управления (графического терминала);
- $f$ ,  $qx$ ,  $q3$ ,  $x$  – эталонные точки разграничения функций.

Назначение функциональных блоков и точек рассмотрено ниже.

Блок функций операционной системы (OSF) обрабатывает информацию, относящуюся к управлению электросвязью, с целью контроля (координации и/или управления).

В соответствии с иерархией уровня управления определяются OSF:

- управления сетевыми элементами (NE-OSF);
- управления сетью (N-OSF);
- управления услугами (S-OSF);
- административного управления (B-OSF).

Функциональная иерархия OSF показана на рисунке 2.62.



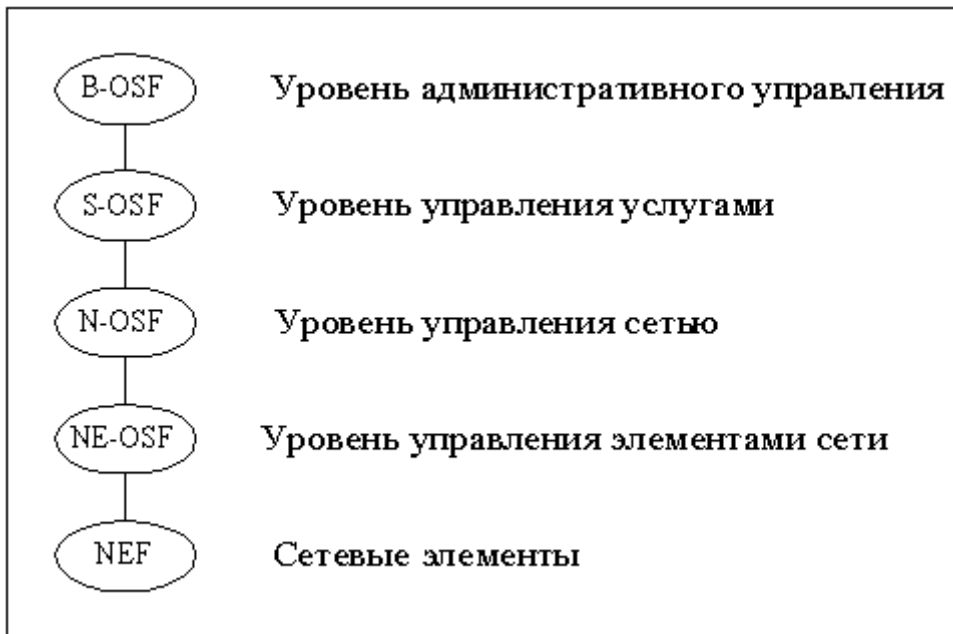


Рисунок 2.62. Функциональная иерархия операционных систем.

Блок функций элемента сети (NEF) связан с действием сети электросвязи и с сетью TMN с целью его контроля и/или управления. Функции NEF являются объектом управления. Эти функции не относятся к сети TMN, т.к. они принадлежат конкретной сети электросвязи. Однако часть функций NEF может составлять предмет TMN, например, передача данных управления через каналы, образуемые в управляемой сети, или, другой пример, интерфейс сетевого управления, размещаемый в сетевом элементе. Блок функций рабочей станции (WSF) обеспечивает средства для интерпретации информации сети TMN пользователю информации управления – человеку. Таким образом к WSF относятся средства стыка с пользователем – человеком, например, графический терминал с ясным представлением функций управления. Считается, что подобного рода средства не являются частью сети TMN и поэтому они показаны на рисунке за границей TMN.

Блок функций Q-адаптера (QAF) используется для подключения к TMN в виде части сети TMN тех объектов, которые не наделены в общем функциями TMN, например, устаревшие виды оборудования передачи и коммутации, или оборудование, в котором реализованы другие, не относящиеся к TMN, функции управления.

Блок функций медиатора (MF) обрабатывает информацию, проходящую между блоками OSF и NEF (или QAF), для обеспечения гарантии соответствия ожиданиям блоков функций, присоединяемых к MF. Блоки MF могут хранить, адаптировать, фильтровать, ограничивать и сжимать информацию для управления.

Опорные (эталонные) точки между функциональными блоками определены в виде трех классов:

- q – класс между функциями OSF, QAF, MF и NEF;
- f – класс присоединения функций WSF;
- x – класс между функциями OSF разных TMN.

Точки  $q$ ,  $f$ ,  $x$  определяют границы услуг управления между двумя блоками функций управления. Функции управления детально приписываются информационной архитектурой. При этом блоки функций, соединяемые через опорные точки, могут обеспечивать не всю сферу информационной архитектуры.

Опорные точки  $q$  различаются на  $q_x$  и  $q_3$ . Они имеют различия в системе знаний управления. При этом для точки  $q_3$  знания о управлении в системе блоков функций более глубокие чем для точки  $q_x$ .

Опорные точки  $f$  поддерживают обмен информацией управления между WSF и OSF (MF), но только той информацией, которая может быть отображена в WSF.

Функции опорной точки  $x$  могут быть сходны с опорной точкой  $q_3$ , но относиться к среде между TMN.

Функция передачи данных между функциональными блоками заключается в транспортировке информации. При этом поддерживается переприем, маршрутизация, коммутация данных. Обычно для представления этих функций используют три уровня семиуровневой модели ISO/OSI (физический, канальный и сетевой).

Информационная архитектура сети TMN базируется на принципе “Менеджер–Агент”, разработанном для управления системами взаимосвязи открытых систем. “Менеджер” и “Агент” программные продукты. Менеджер направляет команды на выполнение операций управления и получает уведомления от агента, а агент непосредственно управляет соответствующими объектами. Агент формирует уведомления в сторону менеджера. Схема взаимодействия “Менеджер–Агент” приведена на рисунке 2.63.



Рисунок 2.63. Схема взаимодействия “Менеджер-Агент”.

Агент хранит собранную статистическую информацию в виде абстрактных моделей (объектов) в информационной базе МІВ (Management Information Base). Объекты отражают состояние реальных ресурсов. При этом в структуре МІВ объекты имеют иерархическую организацию, обычно в виде

дерева МІТ (Management Information Tree). Каждый объект описывается атрибутами (состояниями), которые также представлены в древовидной иерархии.

Один менеджер должен взаимодействовать с несколькими агентами и один агент может выполнять команды (при условии согласованности) нескольких менеджеров. Агент может по определенным причинам (например, безопасность информации) отвергнуть команды менеджера.

Для поддержки всего обмена по управлению между менеджером и агентом используются протоколы управления, такие как СМІР или SМNР.

СМІР, Common Management Information Protocol – протокол общей управляющей информации – стандарт ISO/ITU-T, обеспечивающий выполнение сложных операций средствами интеллектуальных агентов, когда по одной простой команде от менеджера могут быть выполнены сложные последовательности операций.

SМNР, Simple Network Management Protocol – простой протокол управления сетью, определенный стандартами ТСР/ІР, обеспечивает выполнение как простых так и сложных операций управления, однако требует многочисленных операций обмена между менеджером и агентом.

Объекты, помещаемые в МІВ, разделены на классы управляемых объектов:

- запись аварий;
- профиль присвоения серьезности аварий;
- запись об изменении значения атрибута (состояния);
- соединение;
- двунаправленная оконечная точка соединения;
- кроссовые соединения;
- управление сводкой текущих аварий;
- дискриминатор продвижения данных о событии;
- многоточечное кроссовое соединение;
- запись о создании объекта;
- запись о удалении объекта;
- тракт;
- двунаправленная оконечная точка тракта и т.д.

Функциональные блоки сети ТМN используют системы “Менеджер-Агент” для выполнения операций управления. На рисунке 2.64 приведена схема последовательного взаимодействия в сети управления.

М – менеджер

А – агент

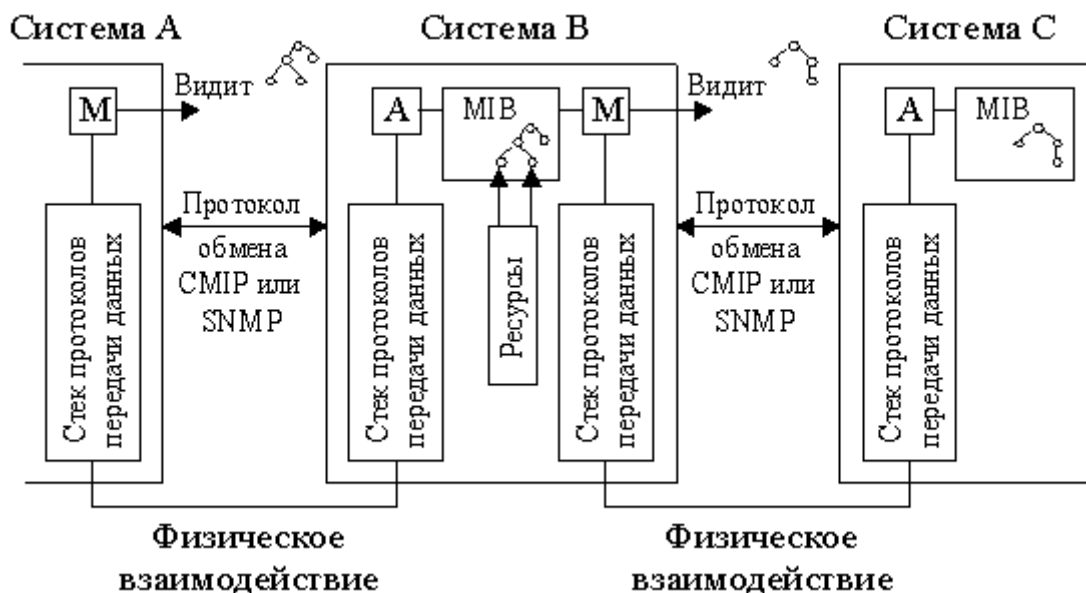


Рисунок 2.64. Пример последовательного взаимодействия в сети управления. Для осуществления взаимодействия менеджер-агент системы должны разделять общую точку зрения или иметь информацию следующего вида:

- способности используемых протоколов;
- используемые функции управления;
- классы управляемых объектов;
- необходимости управляемого объекта;
- санкционированные способности;
- взаимосвязи содержимого между объектами.

Все указанные части информации определены ИТУ-Т как знание для раздельного управления.

Физическая архитектура сети TMN включает в себя компоненты (устройства), которые являются физической реализацией функциональных блоков, сети передачи данных с соответствующими протоколами и интерфейсами. При этом протоколы имеют физическое и программное (протокольное) исполнение. Общая физическая архитектура управления приведена на рисунке 2.65.

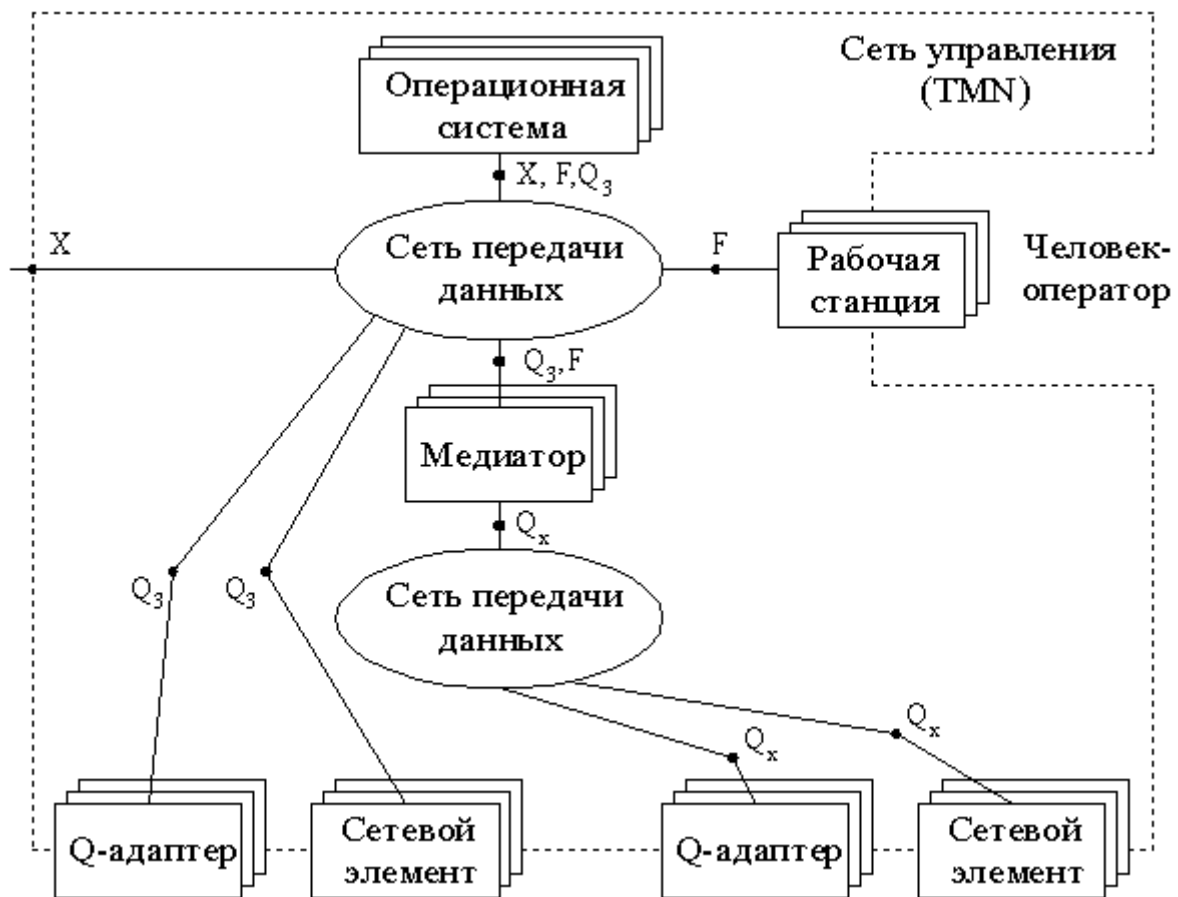


Рисунок 2.65. Физическая архитектура управления.

Медиаторы, служащие для промежуточных обработок данных и их хранения, преобразования протоколов, являются факультативными устройствами и могут быть реализованы в сетевых элементах.

Интерфейсы  $Q_3$ ,  $Q_x$ ,  $F$ ,  $X$  являются межоперационными, т.е. представляют собой формально определенный набор протоколов, процедур, форматов сообщений и семантики, используемых для передачи информации управления.

Пример формального определения интерфейсов  $Q_3$  и  $Q_x$  приведен на рисунке 2.66, где формализация связана с протокольными уровнями моделей ISO/OSI (семь уровней) и TCP/IP (четыре уровня).

Уровни модели ISO/OSI	Интерфейсы TMN	Уровни модели TCP/IP		
Прикладной 7		Формирование потока данных (SNMP)		
Представительный 6	Формализованное представление данных ASN.1 X.209			
Сеансовый 5	Протоколы поддержки сеанса связи ITU-T X.216, X.226	Сегменты и дейтаграммы (TCP, UDP)		
Транспортный 4	Протоколы транспортировки блока данных определенного класса. ISO 8073/AD2 CLA			
Сетевой 3	Протоколы сети передачи пакетов с установлением или без установления соединения. ISO 8473/8348	Пакеты и дейтаграммы (IP и UDP)		
Канальный 2	<table border="1"> <tr> <td>Протоколы доступа к шине CSMA/CD</td> <td>Протокол канала передачи LAPD</td> </tr> </table>	Протоколы доступа к шине CSMA/CD	Протокол канала передачи LAPD	Формирование данных для передачи через сеть (вне модели TCP/IP)
Протоколы доступа к шине CSMA/CD	Протокол канала передачи LAPD			
Физический 1	<table border="1"> <tr> <td>Шина сети Ethernet 10 Base T/2/5</td> <td>Встроенные каналы сети SDH. DCCr, DCCm</td> </tr> </table>	Шина сети Ethernet 10 Base T/2/5	Встроенные каналы сети SDH. DCCr, DCCm	
Шина сети Ethernet 10 Base T/2/5	Встроенные каналы сети SDH. DCCr, DCCm			
	$Q_3$ $Q_x$			

Рисунок 2.66. Примеры формального определения интерфейсов управления ISO/OSI и TCP/IP.

Сокращения, приведенные на рисунке 2.66:

ACSE, Association Control Service Element – элемент услуги контроля ассоциации (группы);

ASN, Abstract Syntax Notation One – абстрактное описание синтаксиса;

CMISE, Common Management Information Services Element – элемент службы общего информационного управления;

CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection – множественный доступ с опросом состояния канала и обнаружением конфликтов;

LAPD, Link-Access Procedure D – процедура доступа к каналу данных D;

NMASE, Network Management Association Services Element – элемент ассоциации услуг сетевого управления;

ROSE, Remote Operation Services Element – элемент обслуживания удаленных операций;

TCP/IP, Transmission Control Protocol / Internet Protocol – протокол управления передачей / межсетевой протокол;

UDP, User Datagram Protocol – протокол передачи дейтаграмм (без

установления соединений).

Пример физической архитектуры сети управления приведен на рисунке 2.67.

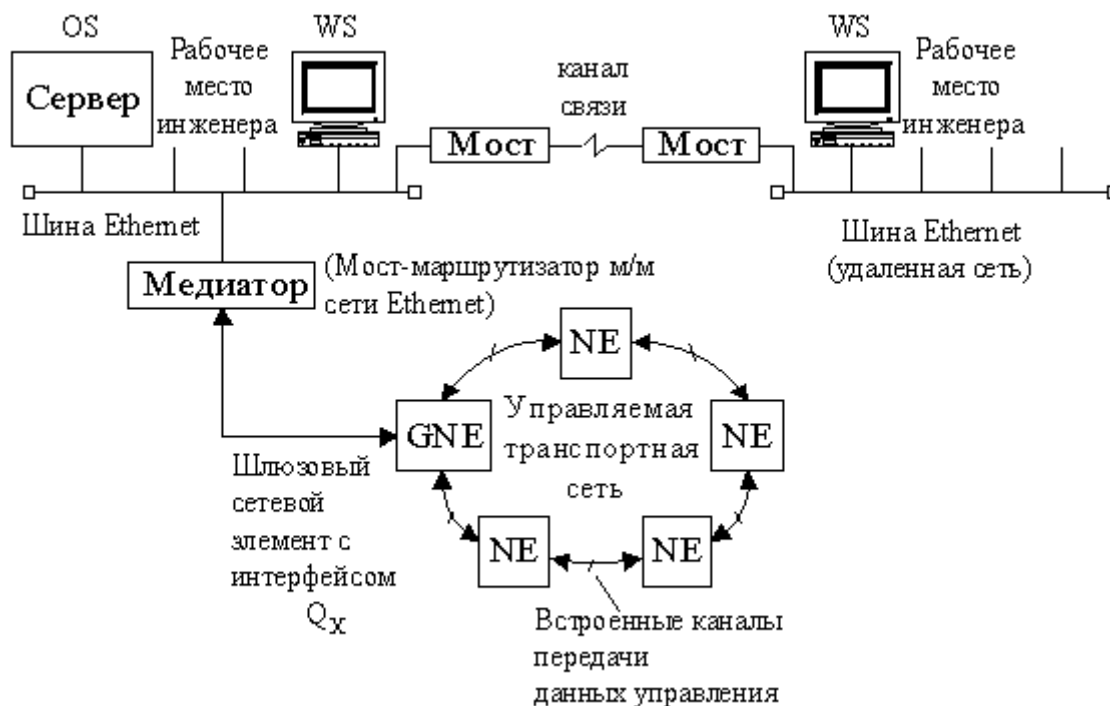


Рисунок 2.67. Пример физической архитектуры сети управления. Функции управления сетевым элементом и транспортной сетью состоят в следующем:

- конфигурировании сетевого элемента;
- установка параметров электрических и оптических портов на сетевых элементах;
- коммутации кроссовых соединений;
- переключении на резерв секций, трактов, соединений подсетей и оборудования;
- конфигурировании синхронизации;
- конфигурировании каналов передачи данных управления;
- обработке аварийных сигналов;
- контроле функционирования.

Конфигурирование сетевого элемента предполагает выполнение ряда операций:

- базовое конфигурирование сетевого элемента с пустой MIB;
- резервирование и восстановление конфигурации обеспечивает для пользователя возможность поиска и получения конфигурации сетевого элемента и восстановление ее в том же самом или другом сетевом элементе;
- запроса данных конфигурации по позициям сетевого элемента (тип полки, список оборудования, назначение смежных блоков, точки окончания, тактирование, выдача аварийных сигналов, каналы передачи данных управления);
- конфигурирование тактовых генераторов;
- конфигурирование входов дистанционного контроля;

- считывание состояния программного обеспечения и т.д.

Установка параметров порта на сетевом элементе подразумевает установку состояний оптических и электрических интерфейсов агрегатных и компонентных сигналов, интерфейсов внешней синхронизации и другое. Коммутация кросс - соединений в сетевых элементах может быть выполнена между отдельными электрическими и оптическими интерфейсами. Для контроля качества сигнала на установленном кроссовом соединении могут использоваться точки окончания или транзитного соединения.

Кроссовые соединения выполняются после полной конфигурации сетевых элементов за исключением кроссовых. При кроссировании устанавливаются однонаправленные соединения точка-точка, однонаправленные точка - много точек, двунаправленные. Отмечаются точки окончания, метки сигналов, контроль транзитных соединений.

Переключение на резерв выполняется с целью повышения надежности системы и сети связи. При нарушении передачи, например, при обрыве линии (сигнал LOS) или повышенном коэффициенте ошибок должно быть выполнено переключение сигналов на резервную линию. Дополнительное оборудование в составе сетевого элемента может защитить трафик в результате защитного переключения.

Функции управления в этом случае состоят в резервировании секции мультиплексирования, соединения подсети (тракта), защиты оборудования. Процедуры управления определены относительно установки резервирования, удаления резервирования, запроса конфигурации и данных о состоянии для существующих резервирований, изменений конфигураций резервирования, переключений между рабочими и резервными линиями или сменными блоками в оборудовании. Резервирование может быть полным (1 + 1) и частным (1 : n), где n – рабочих и 1 резерв.

Конфигурирование синхронизации предполагает:

- конфигурирование источников синхронизации сетевых элементов и сети;
- конфигурирование тактовых сигналов системы;
- конфигурирование внешнего тактового сигнала синхронизации сети.

Конфигурирование производится согласно показателей качества и приоритетов. Очередность приоритетов устанавливается программно в каждом сетевом элементе.

Признаком переключения по приоритету могут служить:

- потеря сигнала (LOS, Loss of Signal);
- потеря цикла передачи (LOF, Loss of Frame);
- сигнал индикации аварии (AIS, Alarm Indication Signal).

Качество синхросигнала кодируется и передается в цикле SDH (STM-N) в байте-метке синхронизма S1. Для защитных переключений источников синхронизации предусмотрен таймер восстановления синхронизма (от 1 до 60 минут), который возвращает схему синхронизма после срабатывания в обратное положение.

Конфигурирование DSN (Data Communication Network) – сети передачи



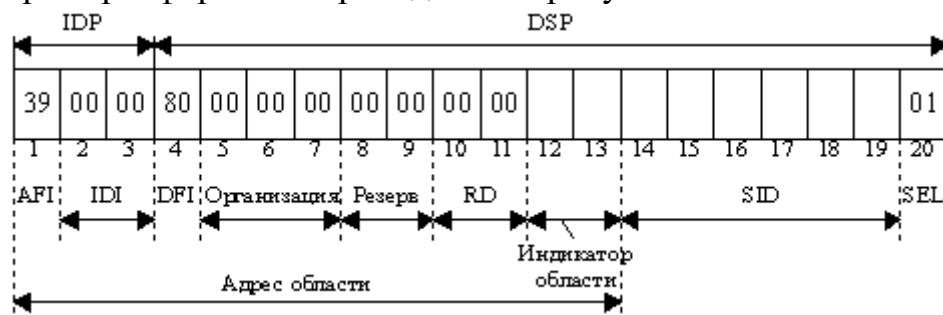
данных для управления выполняется для обеспечения надежности передачи данных управления. При этом конфигурировании создаются форматы адресов области (домена) и дополнительные адреса.

Адрес области (домен) – часть точки доступа к обслуживанию на сетевом уровне (NSAP, Network Layer Service Access Point), который ставится перед идентификатором системы SID (System Identification).

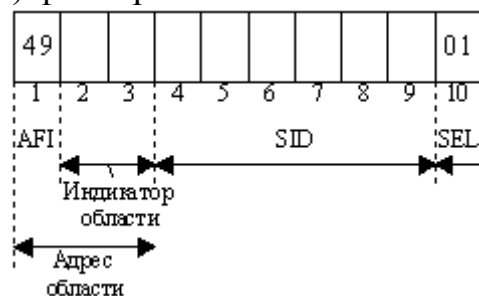
Возможны следующие формы адреса:

- фиксированные 20 байт;
- фиксированные 10 байт;
- формат переменной длины.

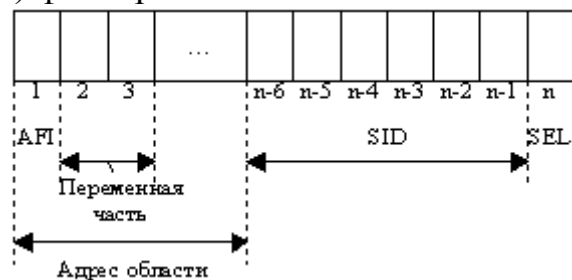
Примеры форматов приведены на рисунке 2.68.



а) фиксированные 20 байт



б) фиксированные 10 байтов



с) формат переменной длины

Рисунок 2.68 Форматы адреса передачи данных управления.

Условные обозначения на рисунке 2.70:

AFI, Authority and Format Identifier – идентификатор полномочий и формата;

DFI, Domain Format Identifier – идентификатор формата области (домена);

DSP, Domain Specific Part – специальная часть области;

IDI, Initial Domain Identifier – идентификатор исходного домена (области);

IDP, Internetwork Datagram Packet – пакетный дейтаграмный межсетевой обмен;

RD, Receive Data – данные приемника (получателя);

SEL, Selector – селектор;

SID, System Identification – системный идентификатор.

При конфигурировании DSN производится маршрутизация с целью объединения сетевых элементов, в том числе и шлюзового в единую сеть.

Редактируется DSN для определенного сетевого элемента. Отображаются соединения каналов передачи данных управления (DCC).

Обработка аварийных сигналов предполагает различные виды отображения аварий. Аварии индицируются в сетевом элементе светодиодами AIP (Alarm Interface Panel). Аварийные сигналы как уведомления отправляются в систему управления для идентификации срочности и важности и отображения оператору.

В системе управления от сетевых элементов может фиксироваться степень серьезности аварии, список аварийных сигналов, фильтр аварийных сигналов (для критериев аварий), число возникших аварийных сигналов, время аварий, звуковой сигнал.

В системе управления может быть получена подробная информация относительно аварийного сигнала, например, категория аварии (оборудование, передача, противоречия в обработке сигналов, внешнее оборудование, сбой управления).

Система управления содержит регистрацию аварийных сигналов, которые могут быть отфильтрованы и упорядочены.

Контроль функционирования (PM, Performance Monitoring) позволяет пользователю системы управления следить за качеством работы конкретного объекта транспортной сети. Достигается непрерывность сбора статистической информации и ее анализа. Для этого системой управления производится активизация точек измерений параметров функционирования, опрос активных точек измерений параметров функционирования, опрос результатов измерений, деактивация точек измерений.

Контроль функционирования периодичен и информация фиксируется через 15 минут или 24 часа (каждый час 0, 15, 30 и 45 минут).

### **2.7.2. Представление функций управления через окна программы**

Главное окно программы управления сетевыми элементами и сетью представляется (рисунок 2.69):

- панелью меню;
- панелью инструментов;
- панелью состояний;
- окнами “off-line”; “Извещения”; “Журналом событий”.

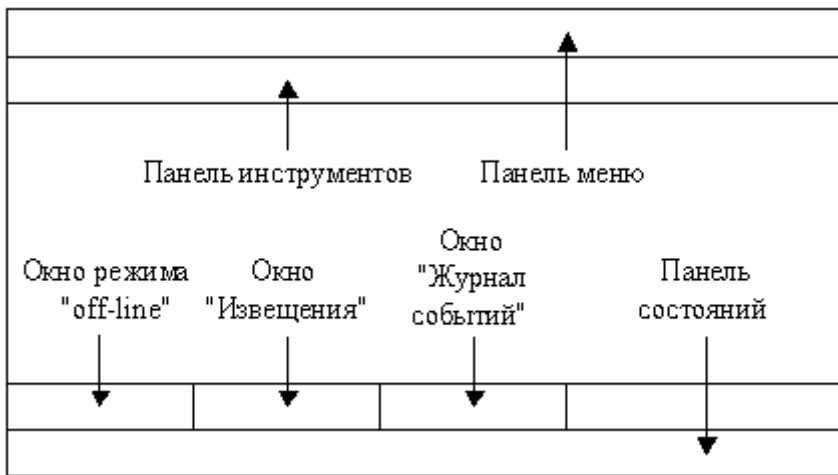


Рисунок 2.69. Главное окно программы управления.

Пример панели меню приведен на рисунке 2.70. Краткая информация по части панели меню приведена на рисунках 2.71 – 2.76.

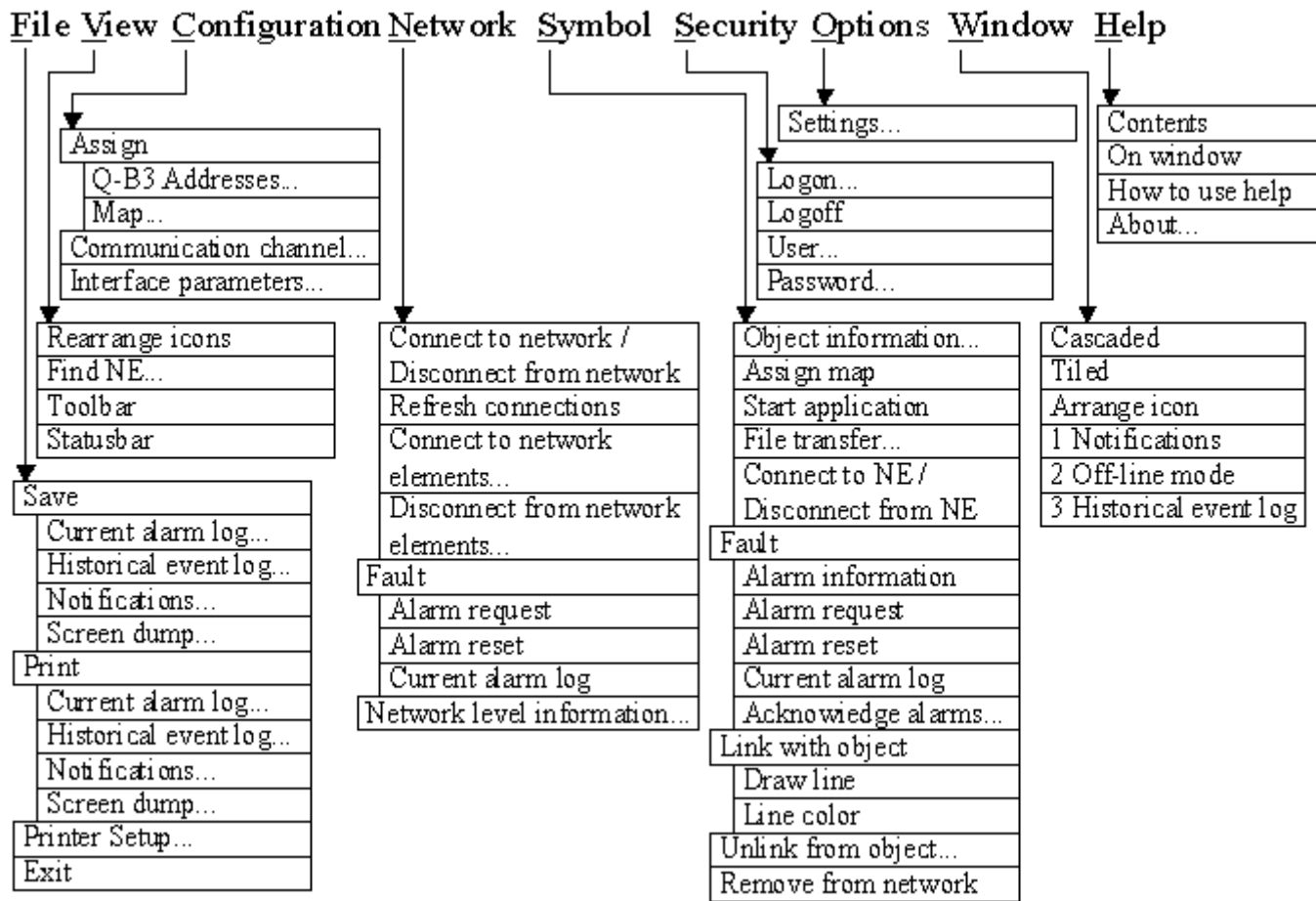


Рисунок 2.70. Пример панели меню.

FILE	Манипуляция программой
Save	Сохранение файлов посредством диалогового режима Windows NT
Current alarm log...	Сохранение "Журнала текущих аварий"
Historical event log...	Сохранение "Журнала событий"

Notifications...	Сохранение сообщений окна "Извещения"
Screen Dump	Сохранение текущего окна в формате bmp
<i>Print</i>	<i>Печать посредством диалогового режима Windows NT</i>
Current alarm log...	Печать "Журнала текущих аварий"
Historical event log...	Печать "Журнала событий"
Notifications...	Печать сообщений окна "Извещения"
Screen Dump	Печать активного окна с его содержимым
<i>Printer Setup...</i>	<i>Изменение и установка опций принтера</i>
<i>Exit</i>	<i>Выход из программы NE-UniGate</i>
<b>VIEW</b>	<b>Установки интерфейса пользователя</b>
Rearrange icons	Выстраивание иконок NE в окне отображения сетевых элементов
Find NE..	Поиск NE в окне отображения сетевых элементов по заданным критериям
Toolbar	Вкл. или выкл. отображение панели инструментов
Statusbar	Вкл. или выкл. отображение панели состояний

Рисунок 2.71 Пример краткой информации File, View.

<b>CONFIGURATION</b>	<b>Конфигурация параметров терминала</b>
<i>Assign</i>	<i>Регистрация адресов сетевых элементов и фонового рисунка</i>
Q-B3 Adresses..	Манипуляция Q-B3 адресами сетевых элементов и локального терминала
Map...	Фоновый рисунок (карта местности сети связи)
<i>Communication channel</i>	<i>Выбор интерфейса Q-F или Q-B3</i>
<i>Interface parameters...</i>	<i>Манипуляция параметрами интерфейсов Q-F и Q-B3</i>
<b>NETWORK</b>	<b>Управление соединениями/аварийными сообщениями для всех доступных сетевых</b>

	<b>элементов</b>
Connect to network/Disconnect from network	Установить/Разорвать соединение между терминалом оператора и сетевыми элементами по выбранному каналу связи
Refresh connections	Обновить соединение (отображение на экране) между терминалом и NE
Connect to network elements	Подключить выбранные сетевые элементы к терминалу оператора
Disconnect from network elements	Отключить выбранные сетевые элементы от терминала оператора
<i>Fault</i>	<i>Администрирование аварий</i>
Alarm request	Обновить аварийную информацию для всех доступных сетевых элементов
Alarm reset	Сброс(удаление) всех аварийных сообщений для всех доступн. сетевых эл-ов
Current alarm log...	Отображение поиска текущих аварий для всех доступных сетевых элементов (по-умолчанию 1000 аварий)
<i>Network level information...</i>	<i>Отобразить информацию о текущем уровне сетевой иерархии</i>

Рисунок 2.72. Пример краткой информации Configuration, Network.

<b>Symbol</b>	<b>Администрирование соединений и аварийных сообщений для выбранного сетевого элемента</b>
Object information	Вывод на экран информации о выбранном сетевом элементе и программе по его обслуживанию
Assign map	Конфигурация фонового ресеунка сетевого режима
Start application	Запуск программы по обслуживанию выбранного сетевого элемента
File transfer	Запуск приложения для обмена файлами м/ду терминалом и мультиплексором
Connect to NE/ Disconnect from NE	Установить/Разорвать соединение для выбранного элемента
<i>Fault</i>	<i>Администрирование аварий для выбранного сетевого элемента</i>
Alarm information	Отображает тип аварий для выбранного сетевого элемента в порядке важности

Alarm request	Обновить аварийную информацию для выбранного сетевого элемента
Alarm reset	Сброс (удаление) всех аварийных сообщений
Current alarm log	Отображение списка текущих аварий для выбранного сетевого элемента
Acknowledge alarms...	Подтверждение аварий в выбранном сетевом элементе
<i>Link with object</i>	<i>Соединение символов NE с помощью линий</i>
Draw Line	Нарисовать линию м/ду выбранным и др. NE
Line color	Изменение цвета линии
<i>Unlink from object</i>	<i>Удаление линий</i>
<i>Remove from network</i>	<i>Удалить выбранный NE (не доступный в данный момент) из окна сети</i>

Рисунок 2.73. Пример краткой информации Symbol.

<b>SECURITY</b>	<b>Администрирование прав доступа, вход и выход из программы</b>
Logon..	Вызов диалогового окна "Вход в программу ..." в качестве зарегистрированного пользователя
Logoff..	Выход из программы
User..	Добавление, удаление либо изменение прав пользователей
Password..	Изменение пароля текущего пользователя (мин 8 - макс 15 символов)
<b>OPTIONS</b>	<b>Установка дополнительных опций</b>
Settings...	Изменение параметров "Журнала текущих аварий", "Журнала истории событий" и "Конфигурации аварий"
<b>WINDOW</b>	<b>Режим отображения открытых окон</b>
Cascaded	Каскадное отображение окон
Tiled	Окна отображаются индивидуально, не перекрывая друг друга
Arrange icon	Выстроить иконы и минимизированные окна в Главном окне программы
1 Notifications	

2 Off-line mod	
3 Historical event log	
<b>HELP</b>	<b>Help в стиле Windows NT</b>
Contents	Содержание Help
On window	Help для текущего окна (вызывается клавишей F1)
How to use help	Справка об использовании Help
About	Короткая справка о программе

Рисунок 2.74. Пример краткой информации Security, Options, Window, Help. Примеры возможных установок панелей инструментов и состояний приведены на рисунках 2.75 и 2.76.



Рисунок 2.75. Панель инструментов.

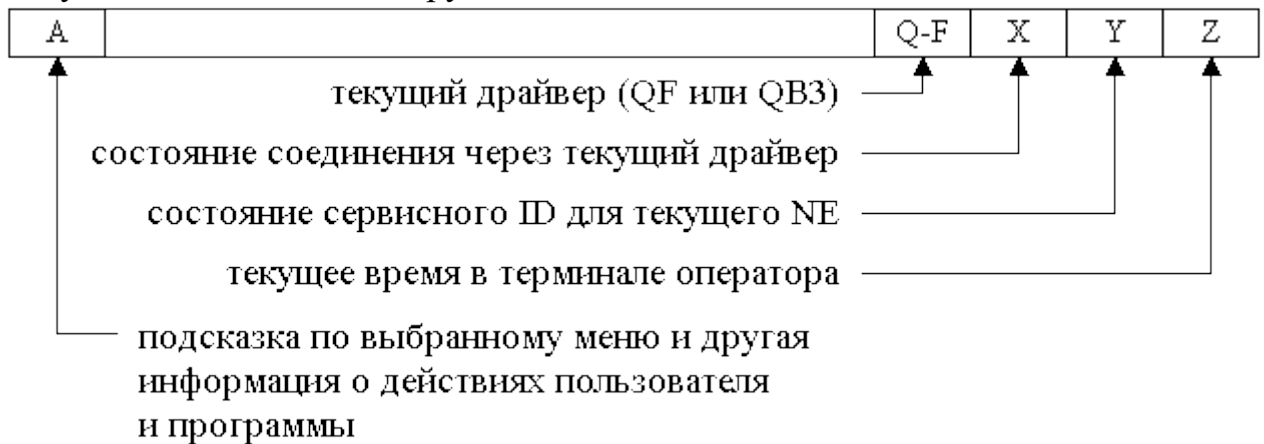


Рисунок 2.76. Панель состояний.

### 2.7.3. Управление сетью SDH

Управление сетью SDH охватывает следующие объекты:

- сетевые элементы SDH (NE SDH);
- секции (физические соединения между NE SDH);
- тракты (логические соединения между портами аппаратуры SDH).

Эти объекты обычно объединяются в группы:

- устройства;
- сетевые элементы;
- сеть (секции и тракты);
- система, в число которых включены объекты системы управления и внешние по отношению к SDH элементы.

*Устройства* – это объекты, которые являются внешними по отношению к сетевому элементу. К этим объектам можно отнести: домен, офис (помещение), аварийная охранная сигнализация, состояние помещения.

*Сетевые элементы* – это аппаратные модули, которые входят в состав NE (полки, выдвижные ящики (блоки), пакеты, порты (компонентные, агрегатные, порты и др.)).

Объекты, обозначенные как “Сеть”, представляют собой: секции; подсети; тракты верхнего и нижнего порядка (VC-3/4, VC-12). Объекты сетевого уровня используются в системах управления обработкой сбоев и управления конфигурацией.

Под системой управления следует понимать: сервер; базу данных; пользователя и лицензию по управлению сетью.

Информационная база управления в системе управления сетью SDH представлена древовидной схемой на примере рисунка 2.77.

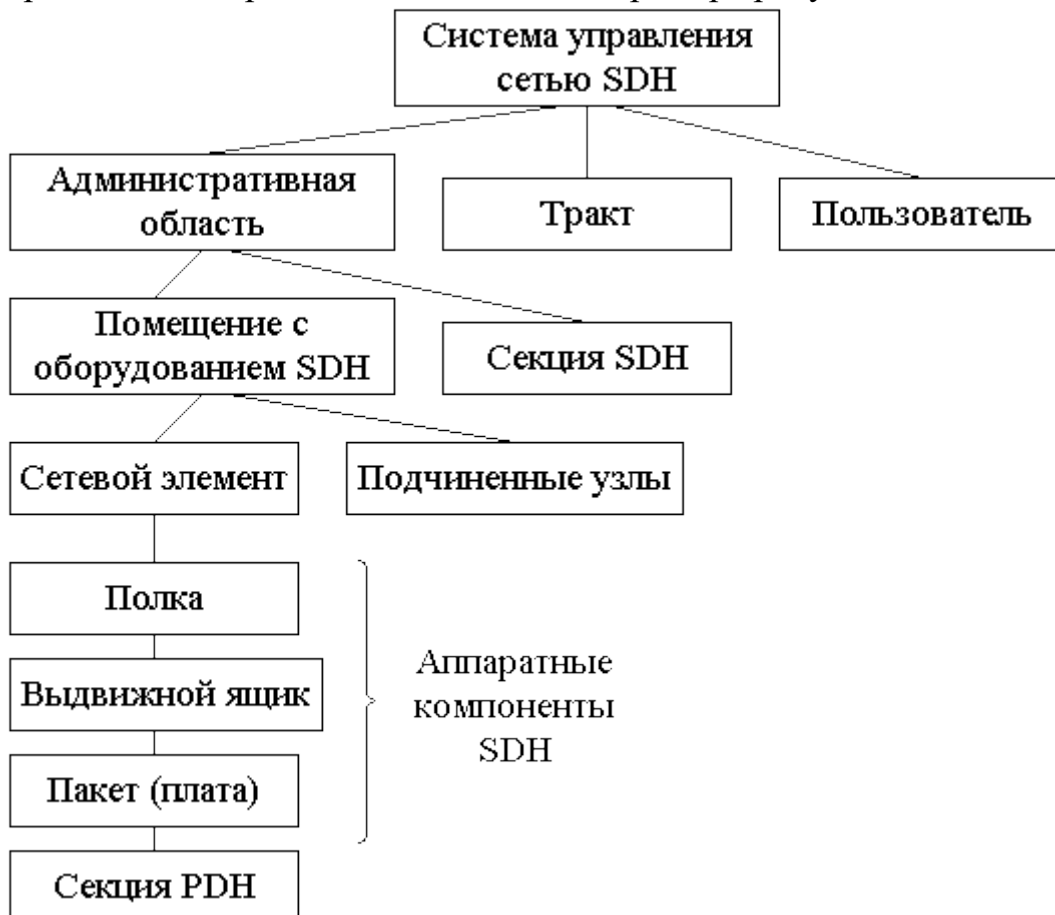




Рисунок 2.77. Древоподобная схема базы данных управления.

Для каждого сетевого элемента определяются в его информационной базе шаблоны для заполнения. Загрузке в МІВ подлежат информация, пример которой представлен на рисунке 2.78.

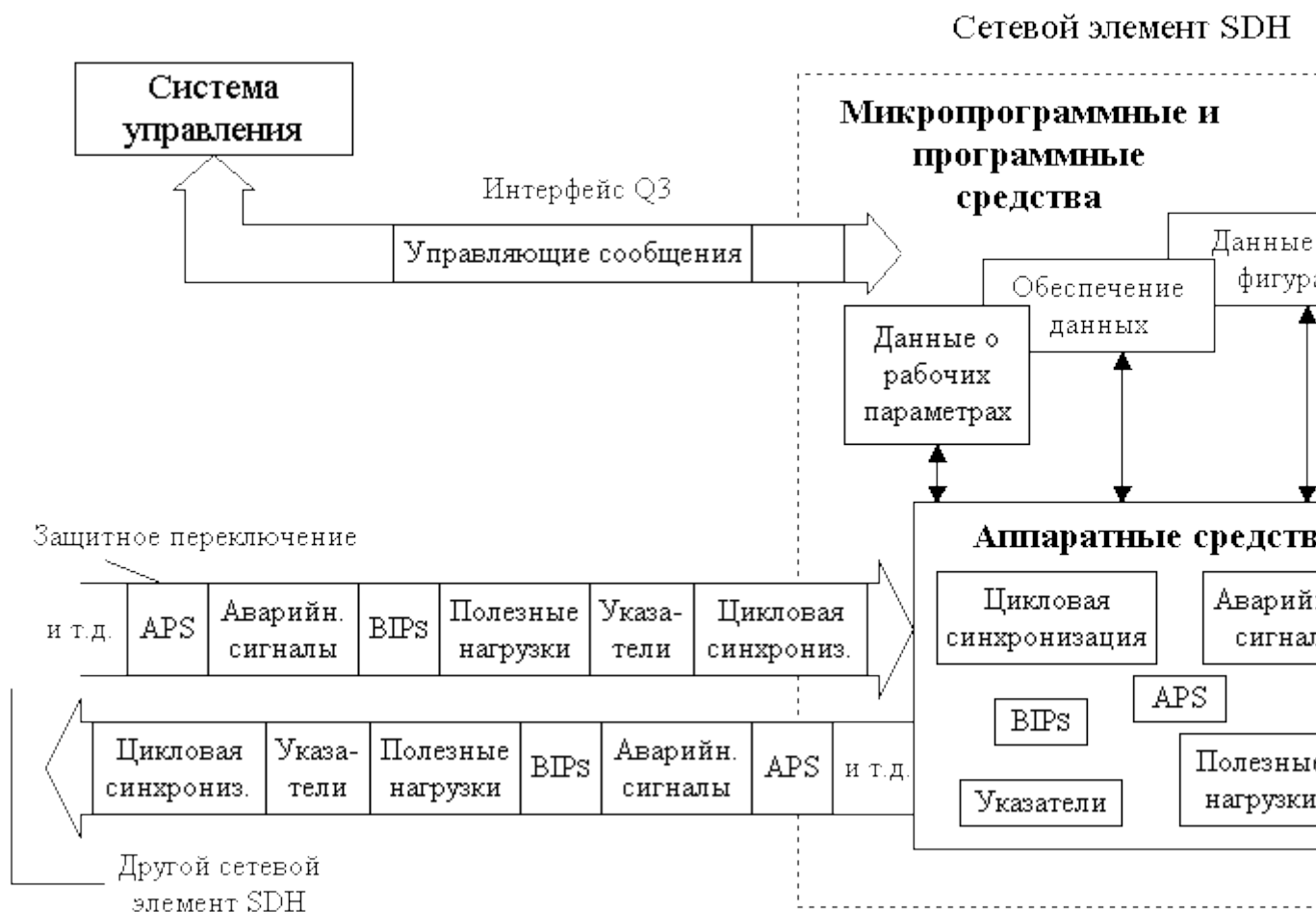


Рисунок 2.78. Пример функций NE SDH, отображаемых в МІВ.

Пример индицируемых дефектов в системе управления сетевого элемента SDH приведен в таблице 2.17.

Дефект \ Место возникновения	SPI	RS	MS	Тракт VC-3/4 (HOVC)	Тракт VC-12 (LOVC)	Порт пользователя PPI	SETS
Отсутствие передачи (TF)	+						
Потеря сигнала (LOS)	+						
Потеря цикла (LOF)		+					
Потеря указателя (LOP)				+	+		
Повреждение на удаленной стороне (FERF)			+	+	+		
Несовместимость тактовых идентификаторов (TIM)				+	+		
Несовместимость метки сигнала (SLM)				+	+		
Потеря сверхцикла (LOM)				+			
Индикация аварии (AIS)			+	+	+		
Избыточные ошибки (EXC)			+				
Потеря входных синхросигналов (LTD)							+
Деградация сигнала (SD)			+				

Таблица 2.17. Индицируемые дефекты в сетевом элементе SDH.

SPI – агрегатный интерфейс

RS – секция регенерации

MS – секция мультиплексирования

SETS – синхроисточник

На рисунке 2.79 представлена общая функциональная организация управления сетевого элемента NE SDH.

ES, Errored Second – секунда с ошибками, период в 1с., в течение которого наблюдалась хотя бы одна ошибка.

SES, Severely Errored Second – секунды, пораженные ошибками – период 1с., в течение которого коэффициент ошибок был более 10<sup>-3</sup>.

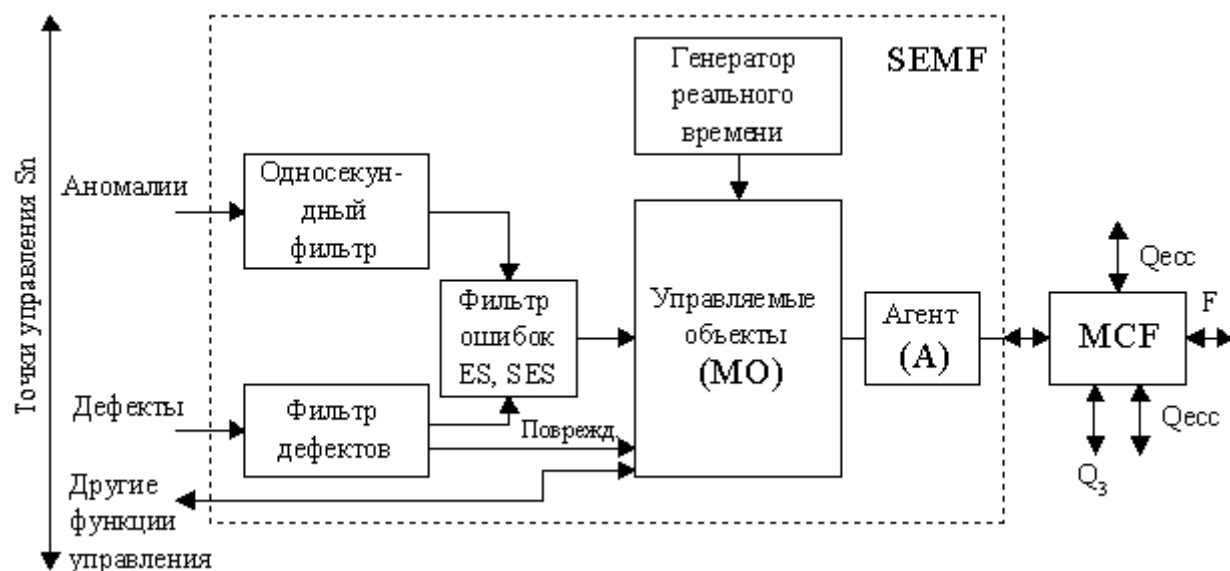


Рисунок 2.79. Функциональная организация управления сетевым элементом NE SDH.

Пример включения сетевых элементов NE SDH в сеть управления в упрощенном варианте приведен на рисунке 2.80.

OSF-MAF – функции операционной системы

MF-MAF – функции медиатора

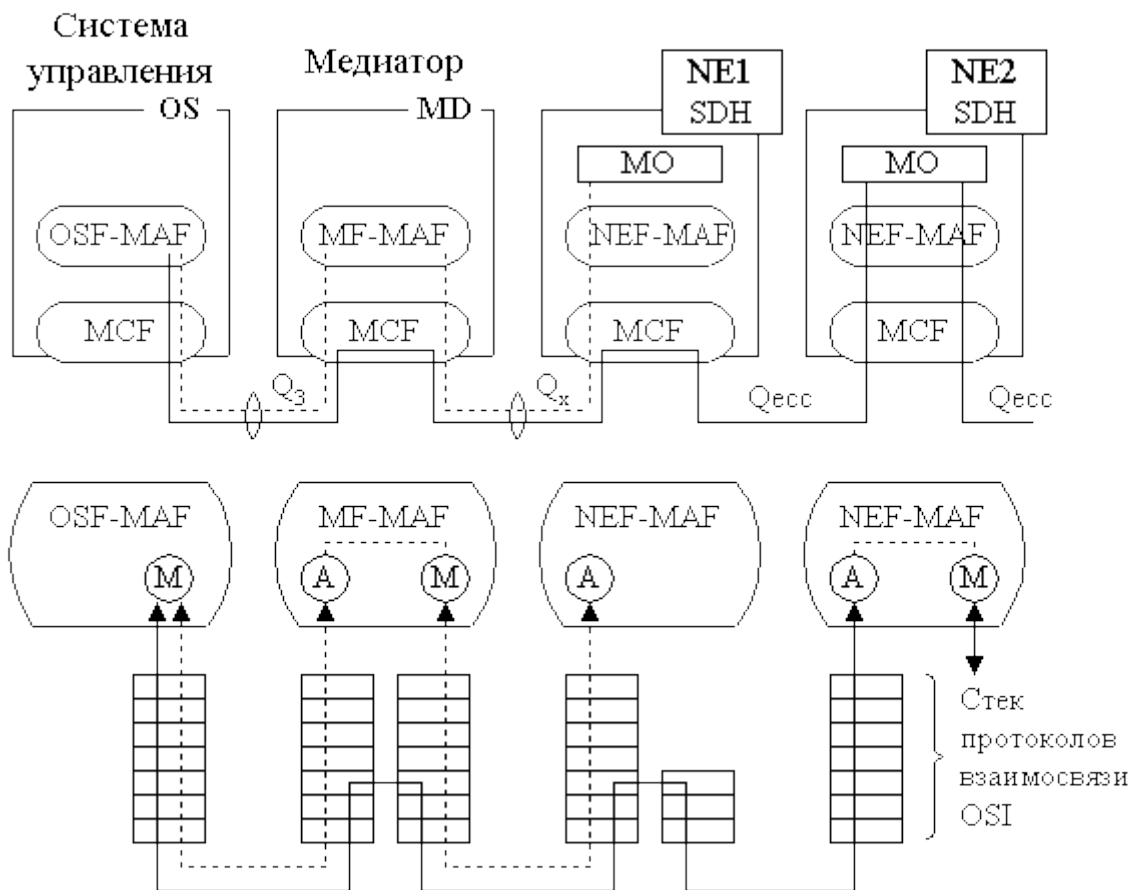
NEF-MAF – функции сетевого элемента

MCF – функции передачи сообщений

$Q_3$ ,  $Q_x$ ,  $Q_{cc}$  – интерфейсы управления

M – менеджер

A – агент



— пути передачи информации управления

Рисунок 2.80. Пример включения сетевых элементов SDH в сеть управления. Управление сетью SDH возможно и без системы, но с сетевого терминала для ограниченного числа сетевых элементов, например, до 50. При этом ограничиваются возможности, например, по резервированию, конфигурированию сети.

Варианты терминалов сетевого управления приведены в таблице 2.18.

Таблица 2.18. Типы терминалов управления.

Характеристики	Тип терминала			
	Локальный		Сетевой	
Способы подключения	F	Q <sub>3</sub>	F	Q <sub>3</sub>
Локальный доступ к NE	есть		есть	
Удаленный доступ к сетевым элементам NEs	нет	есть	нет	есть
Максимальное число контролируемых NEs	1	50	1	50
Контроль аварии локального NEs	нет		есть	
Контроль аварийного состояния удаленных NEs	нет		есть	

Использование графического построения линии	нет	нет	нет
Использование фонового рисунка	–	есть	

Для реализации доступа к функциям управления предусматривается классификация пользователей и определение прав доступа (таблица 2.19).

Таблица 2.19. Классы пользователей и прав доступа.

Уровень доступа	Класс пользователя	Ограничения в правах доступа
1	Обслуживание (Main tenance)	создание кроссовых соединений; регистрация программного обеспечения; регистрация и модификация адресов Q <sub>3</sub> ; регистрация фонового рисунка; администрирование пользователей.
2	Функционирование (Operation)	регистрация и модификация адресов Q <sub>3</sub> ; администрирование пользователей.
3	Наблюдение (Supervision)	регистрация и модификация адресов Q <sub>3</sub>
4	Администрирование (Administration)	нет ограничений

На рисунке 2.81 представлен пример продукции управления транспортными сетями Alcatel.

Уровни TMN	Уровни оборудования управления Alcatel	
Управление услугами	Уровень 4 1354 NX, RM, BM, SN, NN, SY, DCN	Управление сетями SDH, WDM, ATM, IP, синхронизацией Управление: 1355 VPN, 1355 NA- виртуальные частные сети и анализом сетей
Управление сетью	Уровень 3 1353 NX, SH/GEM	
Управление сетевыми элементами	Уровень 2 1321 NX	Управление отдельными сетевыми элементами и группами NE
	Уровень 1 1322 NX 1323 NX	
Элементы сети	Уровень 0 1320 NX графический сетевой терминал	Локальное управление

ITU-T M.3010

Продукция Alcatel

Рисунок 2.81. Пример распределения функций управления между оборудованием управления Alcatel.

#### 2.7.4. Управление в сети ATM

Управление в сети ATM является многоплановым и включает следующие составляющие:

- общая характеристика управления;
- протоколы управления и базы данных управления ATM;
- эксплуатация и техническое обслуживание (ОАМ);
- контроль и управление трафиком.

##### 2.7.4.1. Общая характеристика управления в ATM

Общая характеристика управления в ATM происходит из модели B-ISDN (рисунок 2.1).

Уровень управления предназначен для реализации функций управления всех систем широкополосной цифровой сети с интеграцией услуг. В этом уровне реализуются кроме функций прямого управления еще и функции координации между слоями и каждого слоя в отдельности.

Функции управления и координации определяются спецификой оборудования и построением сети, а также функциями оперативного управления и администрирования ОАМ (Operation Administration Management), зафиксированными в рекомендациях ITU-T I.610. Кроме того,

функции управления АТМ согласованы с функциями сети управления электросвязи (TMN, Telecommunications Management Network), зафиксированными в рекомендациях ИТУ-Т М.3000...3660.

В соответствии с рекомендациями ИТУ-Т уровень управления выполняет следующие функции управления плоскостями::

- устранением неисправности;
- рабочими характеристиками;
- конфигурацией;
- выпиской счетов;
- защитой информации.

В нормальном (рабочем) состоянии сети АТМ мониторинг сетевых элементов обеспечивает непрерывный или периодический контроль неисправности всех контрольных объектов (коммутаторов, концентраторов, узлов доступа, систем передачи и т.д.). Механизм контроля, реализуемый функциями ОАМ, предусматривает информирование оператора сети о качественном состоянии сети за короткий и длительный интервалы времени наблюдения и также позволяет инициировать профилактический контроль. При непрерывном или периодическом контроле сети в случае аварии происходит опознание места ее возникновения и локализация неисправного оборудования, т.е. его исключение из сети. При этом системная защита должна обеспечить уменьшение негативного эффекта от аварии путем ввода в действие резервного оборудования или обходных каналов. Детальное обнаружение дефекта при аварии осуществляется путем внутреннего или внешнего тестирования поврежденных элементов.

Основой для построения высокоэффективной системы управления являются “высокоинтеллектуальные агенты управления”, которые представляют собой специализированные микроконтроллеры, включенные во все сетевые элементы. Организация управления сетевыми элементами основана на протоколах управления, например, SNMP (Simple Network Protocol), простом протоколе управления сетью, соответствующем стандартам открытых систем (ISO/OSI).

Необходимо отметить, что SNMP не реализует всех функций уровня управления АТМ. Для полной идентификации состояний Ш-ЦСИО на основе АТМ Международный Союз Электросвязи рекомендует пять уровней физической иерархии ОАМ. Они демонстрируются на рисунке 2.82, где F1, F2, F3, F4, F5 –уровни реализации функций ОАМ.

Каждый из них обеспечивает следующие функции:уровень F5 (виртуальных каналов) служит для взаимодействия сетевых элементов через виртуальные каналы;

уровень F4 (виртуальных путей) служит для взаимодействия групп сетевых элементов, которые используют одно и то же соединение виртуальных путей:



Рисунок 2.82. Уровни ОАМ для АТМ.

уровень F3 (тракта передачи) служит взаимодействию процессов сборки и разборки ячеек АТМ, защиты заголовков от ошибок с помощью контрольной суммы в НЕС и др.;

уровень F2 (секции мультиплексирования) служит для контроля за работой каналообразующего оборудования и протоколов, например, SDH, PDH, SONET и др.;

уровень F1 (секции регенерации) служит для контроля электрических и оптических преобразований в физической среде (контроль мощности лазера, выделение тактовой частоты, токи схемных элементов).

#### 2.7.4.2. Протоколы управления и базы данных управления

Протоколы управления обслуживают систему “Агент-Менеджер”, т.е. процесс обмена данными между программами центра управления и сетевыми устройствами (коммутаторами, концентраторами, мультиплексорами).

Система “Агент-Менеджер” стандартизирована на основе протоколов SNMP и CMIP (Common Management Information Protocol), т.е. простого протокола управления сетью и протокола общей информации управления.

Схема взаимодействия показана на рисунке 2.83.

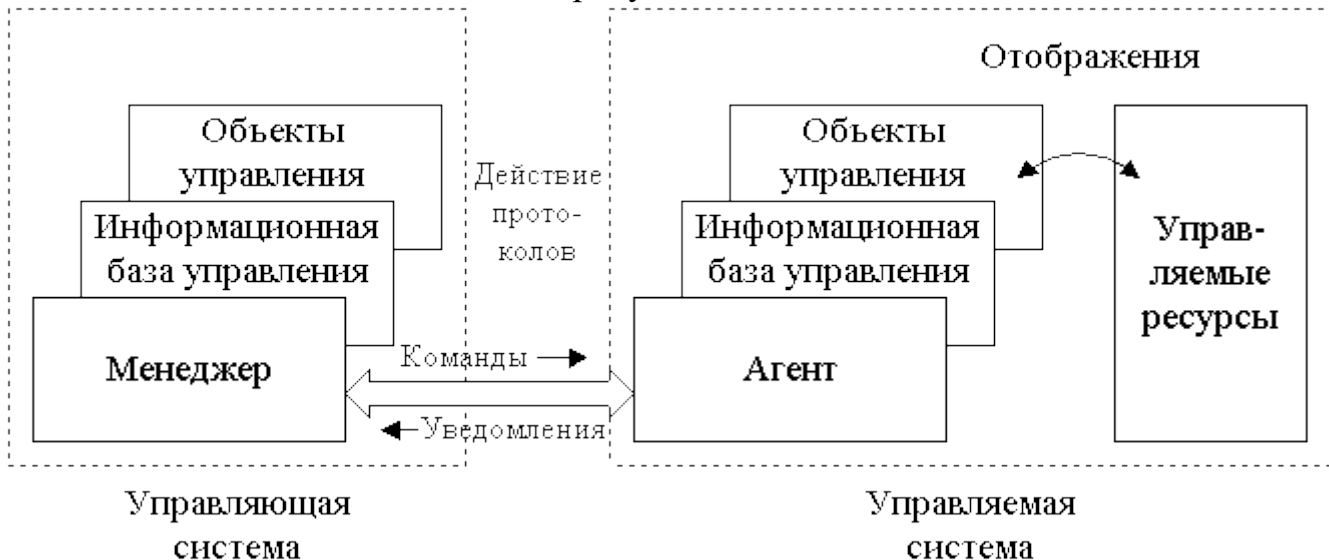




Рисунок 2.83. Система “Агент-Менеджер”.

Программные продукты Агент и Менеджер взаимодействуют через стандартный протокол на предмет объектов управления. Объекты управления представляют собой абстрактные отражения реальных физических ресурсов сетевых устройств и сетей. Например, объектами управления могут быть оконечные точки сети (виртуальные каналы и тракты), аварийные сообщения (срочные и отложенные аварии), конфигурации доступа (физические порты на скоростях 2.048 Мбит/с; 155.520 Мбит/с;...), сигнальная система и т.д.

Менеджер взаимодействует с агентом с помощью команд (запросов) и уведомлений (ответов). Различные протоколы (SNMP и CMIP) позволяют реализовать различные возможности сетевого управления. Например, SNMP изначально был рассчитан на централизованное управление, а CMIP поддерживает систему распределенного управления, которая может включать несколько менеджеров. Кроме того, протокол CMIP рассчитан на интеллектуальных агентов (т.е дорогих по стоимости), которые могут по одной простой команде от менеджера выполнить сложную последовательность действий.

Агенты SNMP простые и выполняют операции по командам менеджера, что приводит к многочисленным обменам командами и уведомлениями. Не смотря на сравнение протоколов не в пользу SNMP, именно он нашел наибольшее применение в сетях АТМ.

#### **2.7.4.3. Протокол и информационная база локального управления на основе SNMP**

Частное решение, предложенное АТМ-Forum, по управлению представляет собой один из вариантов SNMP, приспособленного к сети АТМ. Этот вариант SNMP получил название Integrated Local Management Interface (ILMI) – интегрированный интерфейс локального управления.

ILMI предназначен для контроля соединений через интерфейс UNI.

Модель управления сетью АТМ, разработанная АТМ-Forum в 1996 году, предусматривает следующие возможности:

- каждое АТМ устройство (коммутатор, терминал, концентратор) будет поддерживать один или несколько АТМ интерфейсов (UNI, NNI);
- функции ILMI для интерфейса АТМ представляют информацию о статусе, конфигурации, физическом слое и слое АТМ;
- данные об интерфейсах хранятся в информационной базе управления MIB (Management Information Base) в виде объектов управления, организованных по стандартной древовидной схеме с образованием групп;
- в каждом устройстве АТМ (коммутаторе, терминале, концентраторе) определен один управляющий элемент АТМ интерфейса АТМ IME (АТМ Interface Management Entity);
- при подключении двух АТМ устройств друг к другу через соответствующий интерфейс налаживается и взаимодействие двух IME;

- передача данных между ILMИ происходит через физические и виртуальные связи;
- протокол взаимодействия ILMИ представляет собой открытый протокол SNMP/AAL5;
- с помощью протокола ILMИ IME может иметь доступ к информационной базе данных соседнего устройства ATM;
- интерфейс ILMИ поддерживает двунаправленный обмен параметрами ATM интерфейсов между двумя IME.

Управляющий протокол SNMP и база данных управления MIB необходимы для доступности информации о сети каждому пользовательскому окончанию для установления соединения. Типы информации, доступной в MIB ATM интерфейса, представлены на рисунке 2.84.

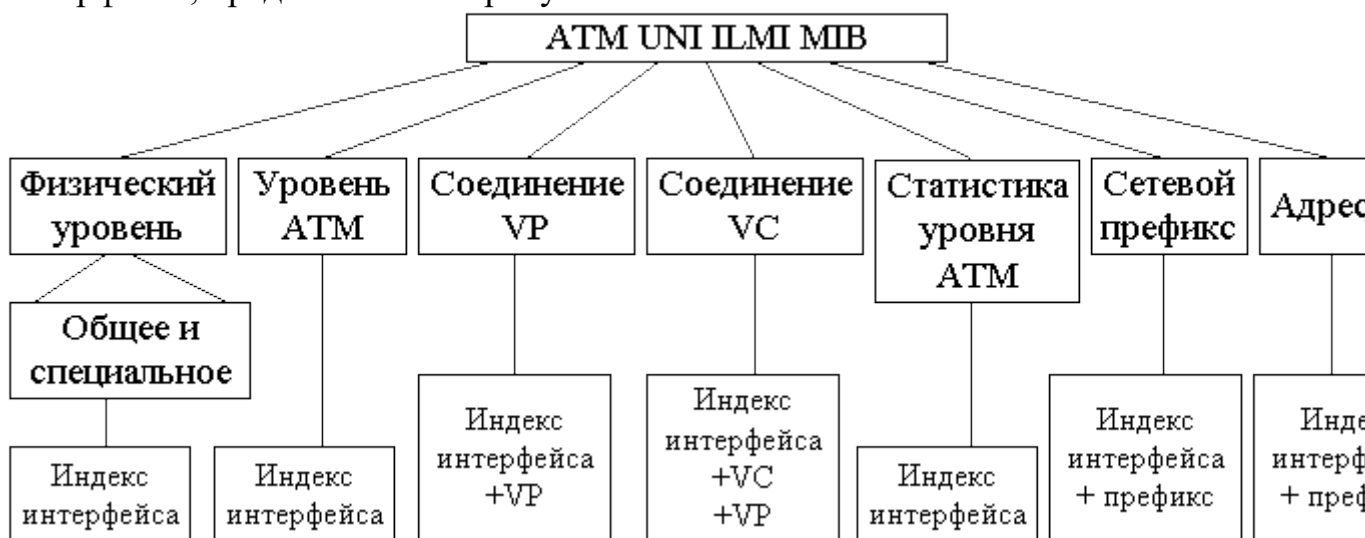


Рисунок 2.84. Структура MIB ATM.

Для ILMИ определены идентификаторы VPI:0; VCI:16. Каждый интерфейс ILMИ имеет ряд групп объектов, показанных на рисунке 2.87 в виде ветвящегося дерева. Для доступа к данным объектов формируется индекс интерфейса, связанный с определенным интерфейсом UNI.

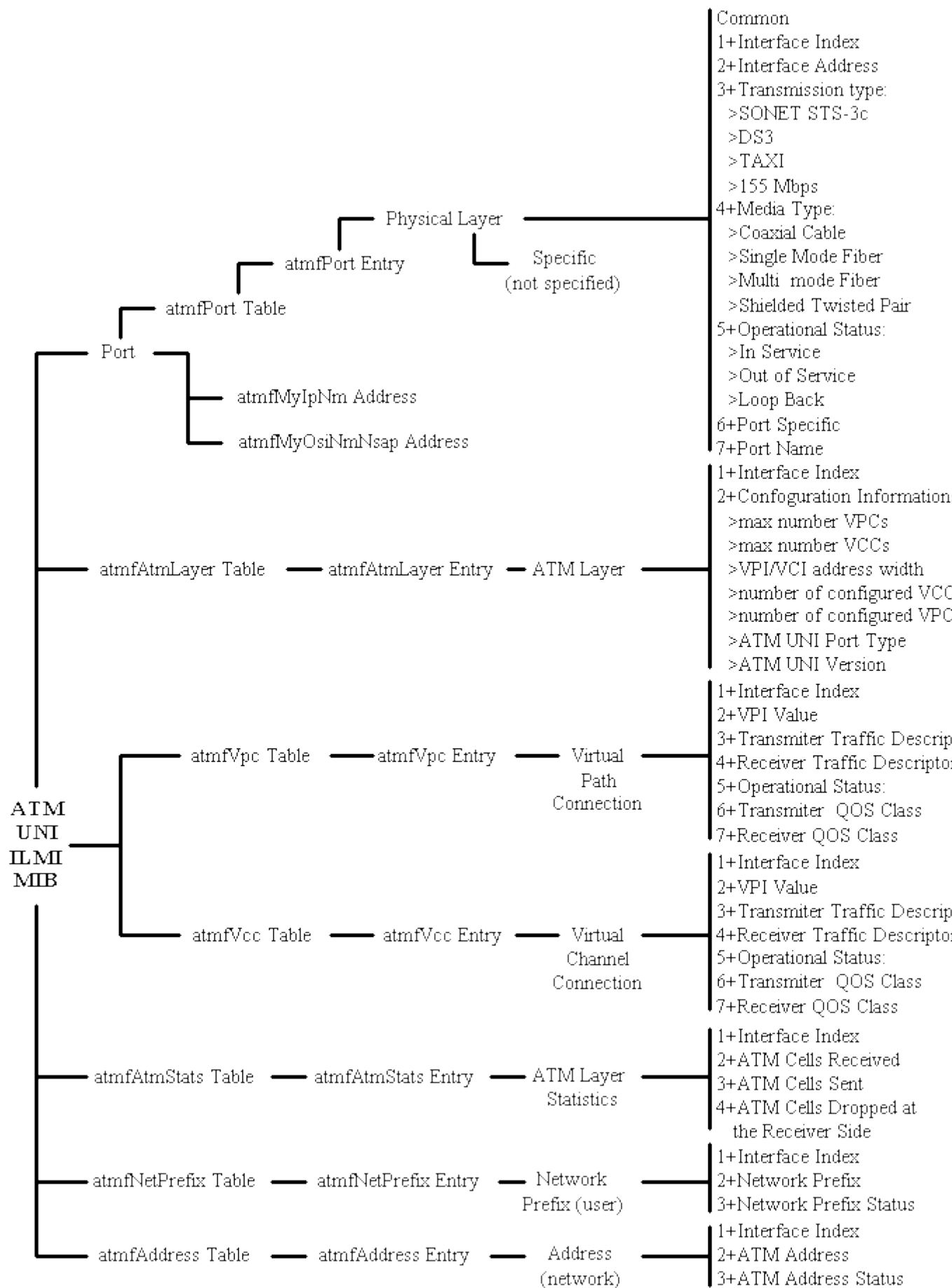


Рисунок 2.85. Структура информационной базы управления сети ATM.  
Для каждой группы MIB характерны свои данные:

- физический уровень отличается типами портов (2.048 Мбит/с; 34.368 Мбит/с; 155.520 Мбит/с), типом физической среды (волокно, коаксиал), информационным статусом;
- уровень АТМ характеризуется количеством виртуальных путей и каналов (возможным и сконфигурированным);
- статистика уровня АТМ определена числом принятых и переданных ячеек на интерфейс, количеством отброшенных ячеек и причинами отбрасываний;
- соединение VP и VC это значения соответствующих идентификаторов (VCI/VPI), статус соединения, класс услуг, определение трафика;
- сетевой префикс представляет собой строку переменной длины (8-13 байт), в которой определен сетевой префикс в формате NSAP или в формате E.164 (UNI 3.0) АТМ–Forum.

*Адреса* – это адреса АТМ из 8 байт, это адреса сигнального адресного формата NSAP UNI 3.0 Forum АТМ самого нижнего порядка (рабочих групп) и статус адреса АТМ.

Адреса размещаются в MIB на сетевой стороне, а сетевые префиксы на пользовательской стороне (UNI). Группа адресации не используется при использовании формата E.164, т.к. восьми байтовый сетевой префикс полностью определяет адрес.

Регистрация адреса и префикса осуществляется в момент инициализации или тогда, когда прибавляется или удаляется префикс или адрес. При инициализации адресные и префиксные таблицы инициализируются пустыми. Порядок обмена командами управления UNI при регистрации адреса приведен на рисунке 2.86.

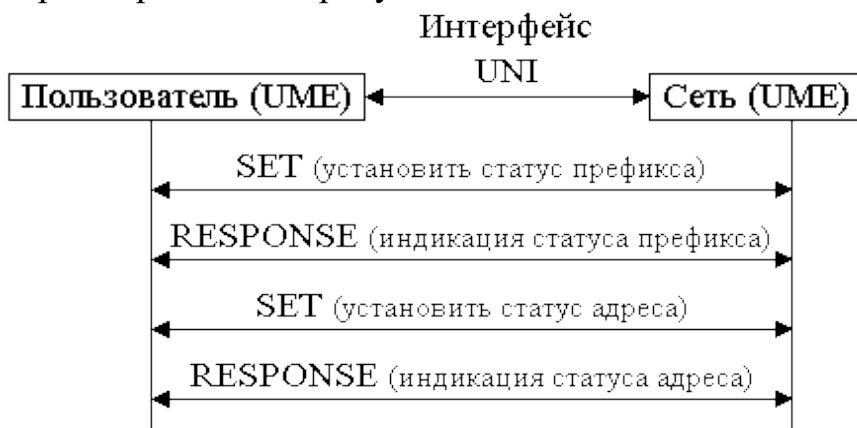


Рисунок 2.86. Сообщения при регистрации адреса пользователя.

Подробная структура MIB АТМ UNI ILMИ приведена на рисунке 2.87.

Место управления ILMИ в общей структуре управления АТМ сети показано на рисунке 2.87.

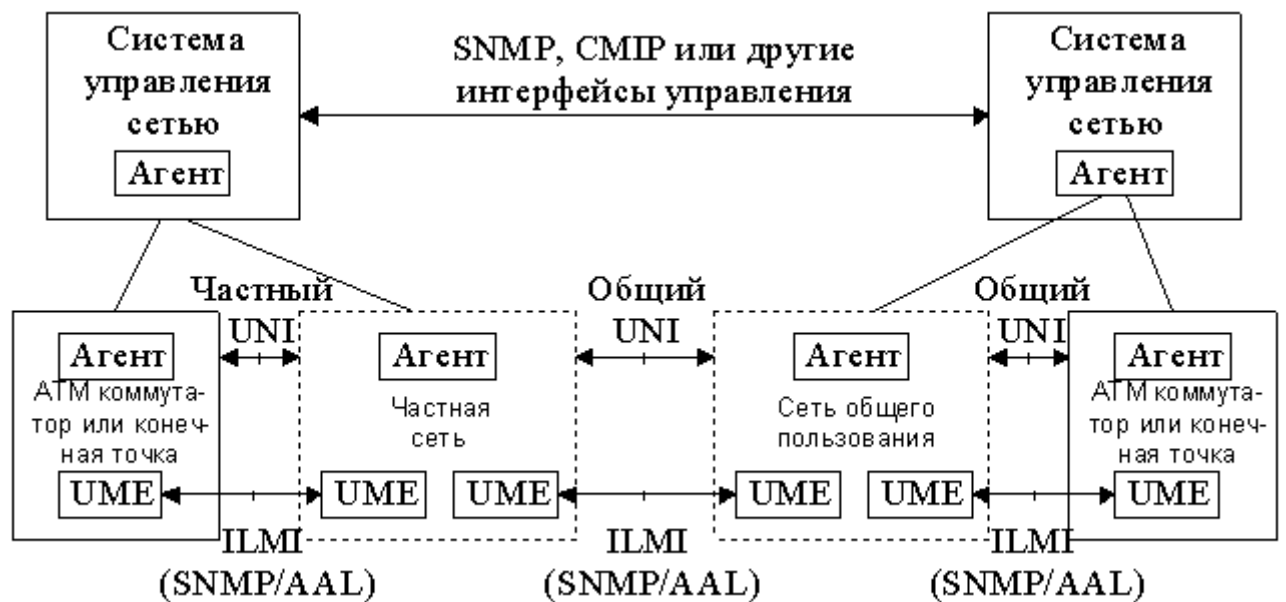
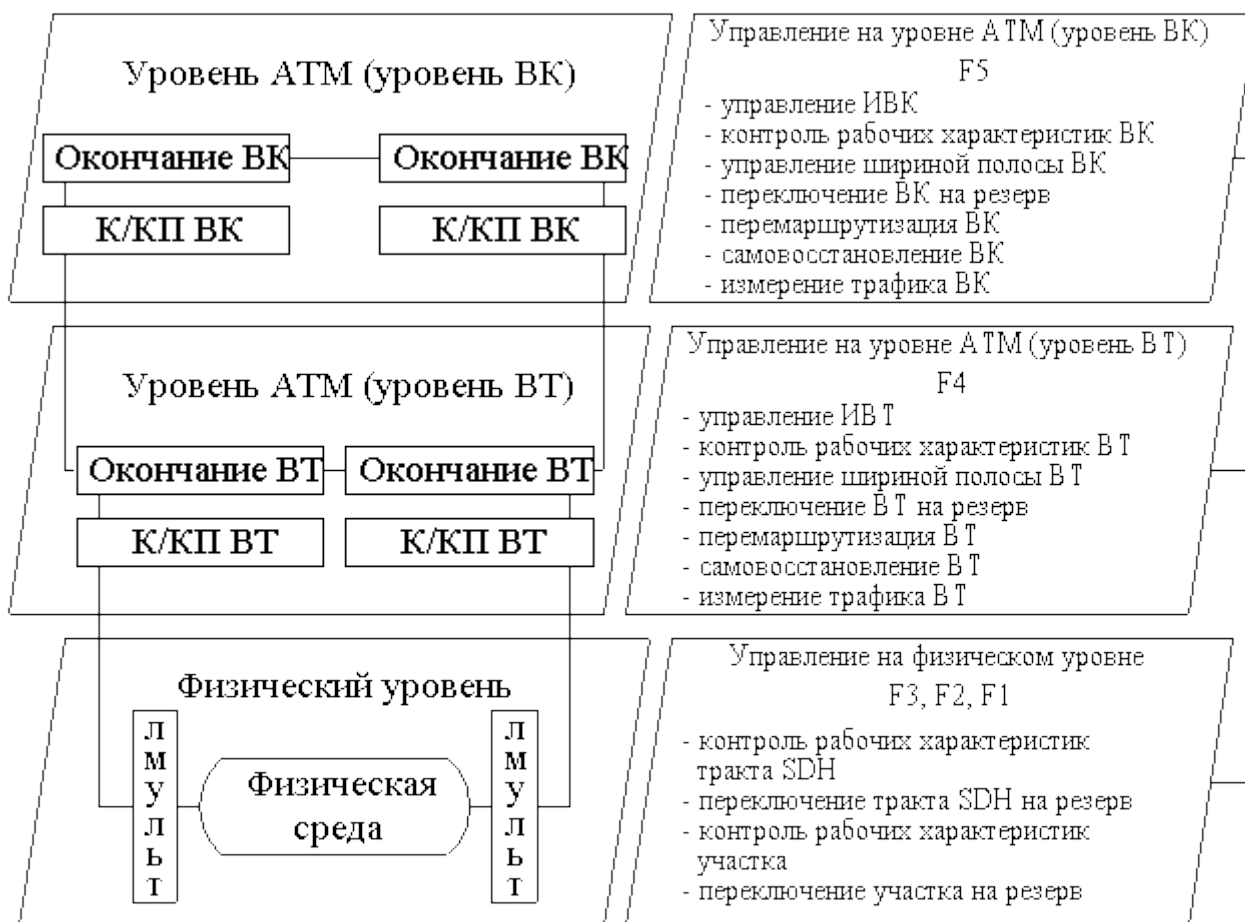


Рисунок 2.87. Место ILMF в модели управления.

Агенты системы управления могут выполнять операции управления по “доверенности” (proxi) менеджера системы, что предусмотрено в концепции управления SNMP.

#### 2.7.4.4. Управление уровнями АТМ (функции ОАМ)

Общая характеристика управления уровнями АТМ определена рекомендацией ITU-T I.610. На рисунке 2.88 представлено общее функциональное описание управления.



К/КП - коммутатор/кроссовый переключатель

ЛМУЛЬТ - линейный мультиплексор

Рисунок 2.88. Функциональное описание управления уровнями АТМ.

Уровни ОАМ F1, F2, F3 отнесены к физическому уровню Ш-ЦСИО, т.к. обеспечивают контроль сигнала до его логической и информационной обработки.

Уровни ОАМ F4 и F5 считаются уровнями логической и информационной обработок сигнала, т.к. здесь обеспечивается маршрутизация согласно маршрутных адресов, заложенных маршрутные таблицы, и коммутация для установления соединения, здесь анализируется неисправность, качество работы сети, производится активация и деактивация.

Для реализации функций ОАМ любой из уровней (F1–F5) способен формировать запросы ОАМ, т.е. вставлять служебную информацию в общий поток данных. Например, для организации запросов уровней F1, F2, F3, относящихся к физическому уровню ОАМ, представленному сетью SDH, для F1 и F2 запросы идут в заголовке RSOH, а для F3 в заголовке MSOH синхронного транспортного модуля (STM-N, N = 1, 4, 16, 64). Для уровней F4, F5 выделяются заранее определенные виртуальные каналы, которые резервируются в каждом виртуальном пути. Эти каналы двусторонние. Узлы, управляющие вставкой запросов ОАМ в поток информации,

контролируют и уничтожают запросы, адресованные им.

На рисунке 2.89 приведен пример возможных служебных ячеек для ОАМ на физическом уровне. Возможные функции уровней F4 и F5 представлены в таблице 2.20.

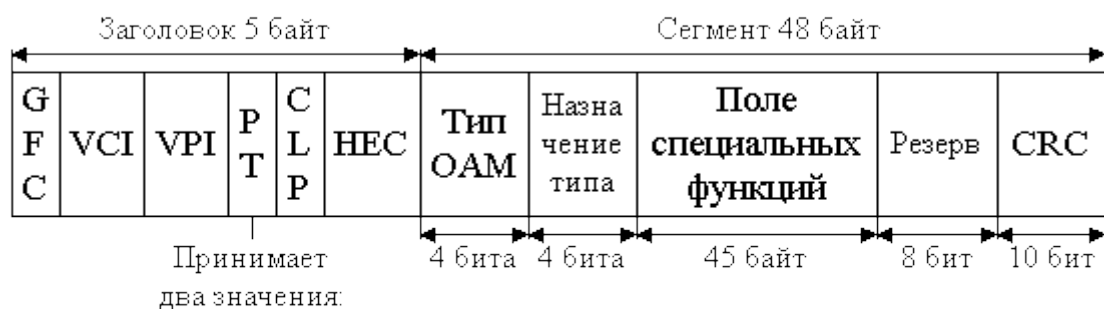
Таблица 2.20 Функции уровня ОАМ

Соединение ATM	Уровень ОАМ	Функция уровня ОАМ	Возможная неисправность
Виртуальный путь	F4	Проверка наличия свободного виртуального пути	Нет свободного виртуального пути
		Проверка загрузки виртуального пути	Перезагрузка виртуального пути
Виртуальный канал	F4	Проверка наличия свободного виртуального канала	Нет свободного канала
		Проверка загрузки виртуального канала	Перезагрузка виртуального канала

Для тестирования ATM соединений используется периодическая инициализация передачи ячеек служебной информации в виртуальных каналах и путях независимо от загрузки этих каналов. Длительное отсутствие в любых каналах служебных ячеек является для системы управления сигналом аварийного состояния.

Помимо прямого контроля виртуальных путей и каналов применяется передача по шлейфу служебных ячеек с функциями ОАМ.

При этом VC и VP остаются в работоспособном состоянии, однако, служебные ячейки заворачиваются и возвращаются в пункты их исхода. Служебные ячейки с информацией ОАМ могут быть вставлены в любом месте VC/VP, то есть в его начале или в середине. Они переносят в поле данных инструкции по их возврату (шлейфованию).



100 - для сегментов сети (сетевой элемент - сетевой элемент)

101 - для потока от точки к точке

Рисунок 2.89. Служебная ячейка ATM для ОАМ.

Служебные ячейки ОАМ обеспечивают обнаружение неисправностей:

- потеря синхронизации ячеек;
- исправляемые ошибки заголовка;
- не исправляемые ошибки заголовка;

- сигнал неисправности уровня VP;
- нарушение работы уровня VP;
- сигнал неисправности уровня VC;
- сигнал нарушения работы уровня VC;
- сигнал одновременной неисправности уровней VP и VC;
- нарушение одновременное работы VC и VP;
- потеря связности виртуального соединения.

Составной частью функций ОАМ является контроль качества передачи ячеек, который включает следующие параметры:

- количество ячеек с ошибками;
- количество блоков ячеек с ошибками;
- количество потерянных и ложно вставленных ячеек;
- задержка при передаче ячеек и ее вариации.

Структура ячейки ОАМ для контроля качества приведена на рисунке 2.90.



Рисунок 2.90. Структура ячейки контроля качества АТМ.

Функции полей ячейки контроля качества:

- порядковый номер используется для контроля связности служебного канала ОАМ;
- $TUC_0/TUC_{0+1}$ , Total User Cell – данные о количестве ячеек пользователя, среди которых передаются ячейки ОАМ, обозначения индексов (0, 0+1) обозначает бит  $CLP = 0/CLP = 0+1$ ;
- $BEDC_{0+1}$ , Block Error Detected Code – обнаружение ошибок;
- $TRCC_0/TRCC_{0+1}$ , Total Received Cell Count – квитанция после приема ячеек пользователя, среди которых была ячейка ОАМ; индексы (0/ 0+1) обозначают биты  $CLP = 0/CLP = 0+1$ ; знак “+” означает логическое сложение;
- $BLER_{0+1}$ , Block Error Result – данные об ошибках на стороне приема, обнаруженные по алгоритму ВР-16 (Bit Interleaved Prity)- четности перемежающихся битов.

### 2.7.5. Управление в сети WDM

Управление в сети WDM в общих аспектах схоже с ранее рассмотренными



вариантами управления SDH и АТМ, однако для WDM сети характерны отличительные признаки. К ним относятся решения по фотонному восстановлению сигналов многоволновой сети (усиление и оптическая регенерация без преобразования в электронный вид), фотонная коммутация каналов, выделение и ввод отдельных волновых каналов и т.д. Все это накладывает отпечаток на особенности построения управления оптической сетью. Одной из таких особенностей является разделение управления SDH, АТМ и WDM в оптической сети, как показано на примере рисунка 2.91. В то же время, введение системного интегратора управления поможет выйти на новый уровень решения задач управления, объединив зачастую различные технологии управления для наивысшей эффективности. Таким системным интегратором может служить технология CORBA (Common Object Request Broker Architecture) – общая архитектура брокеров объектных запросов, являющаяся наиболее важным проектом в области промежуточного программного обеспечения. Изучение технологии CORBA является отдельной большой темой в задачах управления и в этом учебном издании не рассматривается. Ниже приведены элементы по возможной архитектуре управления на уровне WDM (EMS WDM) (рисунок 2.91).

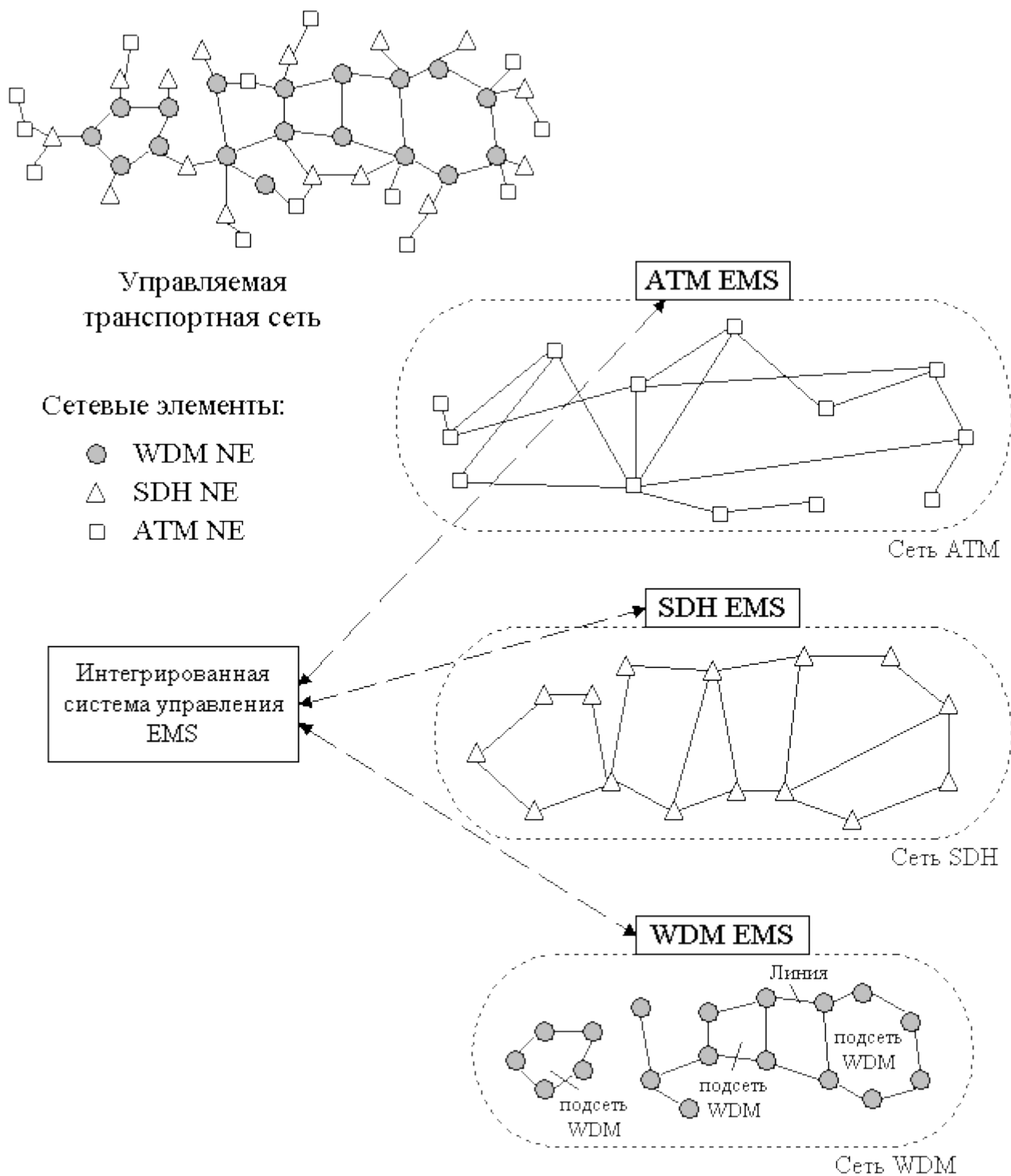


Рисунок 2.91. Пример представления интегрированной системы управления сложной комплексной транспортной сети с оборудованием WDM, SDH, ATM.

Оптическая сеть WDM может состоять из отдельных подсетей и соединяющих их линий. Управление в оптической сети сводится в соответствии с общей моделью управления к следующему:

- управлению сетью (Layer Network); -управление подсетью (Subnetwork);
- управление линией, соединяющей подсети (Transport link и access link);
- управление точкой линейного окончания (Link Termination Point – LinkTP);
- управление линейным соединением – т.е. волновым каналом (Link Connection – LC);
- управление точкой окончания соединения сети (Network Connection Termination Point – nw CTP);
- управление соединением подсети, т.е. ресурсом передачи (волновыми каналами) между подсетями (Subnetwork Connection – SNC);
- управление точкой окончания сетевого тракта, не ограничиваемого только уровнем транспортной сети и доходящего до пользовательской сети (сети доступа) (Network Trail Termination Point – nw TTP);
- управление трактом из конца в конец как ресурсом передачи пользовательской информации между двумя nw TTP.

Указанные функции управления как правило отражаются в MIB сетевого управления и управления сетевыми элементами. Множество других решений по управлению оптическими сетями находятся в стадии обсуждения и разработки.