Минстерство образования и науки Республики Казахстан

Некоммерческое акционерное общество
«Алматинский университет энергетики и связи»

К.С.Чежимбаева, А.Д.Мухамеджанова

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Алматы
АУЭС
2014

УДК 654
ББК 32.88
Ч 35

Рецензенты:
кандидат технических наук, доцент кафедры Радиотехники, электроники и телекоммуникации КазНТУ и. К.И. Сатпаева
А.О. Касимов,
доктор технических наук, профессор кафедры Радиотехники, электроники и телекоммуникации КазНТУ и. К.И. Сатпаева
Н.Т. Исембергенов,
кандидат технических наук, профессор кафедры инфокоммуникационных технологии АУЭС
Туманбаева К.Х.
Рекомендовано к изданию Ученым советом Алматинского университета энергетики и связи (протокол № 5 от 09.12.2014г.). Печатается по тематическому плану выпуска ведомственной литературы АУЭС на 2014 год, позиция 18.

Чежимбаева К.С., Мухамеджанова А.Д.
Ч 35 Проектирование телекоммуникационных систем: Учебное пособие (для студентов высших учебных заведений специальности «Радиотехники, электроники и телекоммуникации»)/К.С.Чежимбаева, А.Д.Мухамеджанова.-Алматы: АУЭС, 2014.-114 с.:табл.6,ил.48,библиогр.-78 назв.

ISBN 978-601-7436-27-8

В учебном пособии рассматриваются процесс проектирования систем, который должен быть *гибким, непрерывным и итерационным* на каждом шаге планирования.

Учебное пособие предназначено для магистрантов, обучающихся по специальности 6М071900 - «Радиотехники, электроники и телекоммуникации».

УДК 654
ББК 32.88

ISBN 978-601-7436-27-8

© АУЭС, 2014

Чежимбаева К.С.,
Мухамеджанова А.Д.,2014

Введение

Телекоммуникации являются основой развития общества. Постоянно растущий спрос как на обычные телефонные услуги, так и на новые виды услуг связи, включая услуги Интернет, предъявляет новые требования к современным сетям связи и качеству предоставляемых услуг. С другой стороны, совершенствование телекоммуникационного оборудования и развитие на его основе современных сетей связи приводит к усложнению процесса построения и значительным затратам на создание таких сетей. В связи с этим вопросы планирования и построения современных сетей связи разного масштаба приобретают актуальность и особую значимость.

Развитие телекоммуникационных технологий привело в последние годы к серьезным изменениям в понимании сущности, методов построения и путей развития современных цифровых сетей связи (ЦСС), включая ведомственные и корпоративные. Важнейшими тенденциями развития становятся процессы конвергенции и интеграции современных компьютерных и традиционных сетей связи и появление инфокоммуникационных сетей, начиная от корпоративных и заканчивая сетями национального и глобального масштабов [17, 26, 53,79, 80].

Сетевые технологии такие, как синхронная цифровая иерархия, асинхронный режим передачи, сверхплотное волновое мультиплексирование, сеть Интернет и другие, не только открывают новые возможности в построении современных ЦСС, но и требуют специального изучения и применения их на качественно новом уровне. Появившаяся в последние годы техническая литература по новым сетевым технологиям, как правило, посвящена отдельным их направлениям [6, 26, 33, 41, 42, 61]. Интеграционные процессы, проявляющиеся в современных сетевых технологиях и телекоммуникационных сетях, вопросы планирования и построения ЦСС не нашли должного отражения в литературе. Исключением, пожалуй, является [26], которая посвящена в большей степени технологиям компьютерных сетей.

Новые сетевые технологии - основа построения современных ЦСС - требуют серьезного осмысления места и необходимой степени взаимопроникновения и взаимодействия в процессе планирования и построения реальных сетей. Наряду с этим, вопросы терминологии современных цифровых сетей, которые обсуждаются в последние годы, остаются актуальными как для специалистов - разработчиков и системных интеграторов в процессе создания современных мультисервисных инфокоммуникационных сетей, так и для квалифицированных пользователей и заказчиков таких сетей.

Планирование сетей подразумевает определенную последовательность и этапность принятия организационно-технических решений по выбору архитектуры, топологии, структуры, базовых технологий и аппаратуры на основе некоторых принципов и технических требований к цифровой сети. Раскрытие сущности и содержания понятия планирования сетей, а также рекомендации по оптимизации указанных решений являются основным

предметом рассмотрения и обсуждения представленной вниманию читателя книги.

1 Введение в планирование телекоммуникационных систем

1.1 Основные понятия

Основные понятия передачи информации. Интеллектуальная деятельность человека, работа автоматики, связи, компьютерной техники и других устройств связано с хранением, переработкой и передачей различных *сообщений:* речевых, текстовых, видеоизображений. Сведения, как содержащиеся в таких сообщениях, так и получаемые с помощью средств связи, являются *информацией.* Информацию, пригодную для обмена между вычислительными устройствами, компьютерами и аппаратурой различных технических систем, называют *данными.* Физические возмущения в средах, цепях, имеющие вид волновых процессов и обеспечивающие передачу информации, представляют собой *сигналы.* Сообщения и сигналы подразделяют на *непрерывные* и *дискретные.* Непрерывные сигналы называются *аналоговыми,* дискретные - *цифровыми.*

В технике связи сообщения переносятся в виде сигналов, которые формируются в передающих устройствах или системах передачи. Операции формирования сигналов называют *преобразованием, кодированием, модуляцией.* Перевод некоторого сообщения в первичный электрический сигнал представляет собой операцию *преобразования. Кодирование* - это преобразование сообщений или первичных сигналов в определенные сочетания дискретных символов (например, электрических импульсов). Кодирование используют для согласования сигналов источника сообщений с сигналами каналов связи, что обеспечивает требуемые скорость передачи информации и помехоустойчивость, а также защиту информации в сети. Изменение определенного параметра сигнала в соответствии с передаваемым сообщением при передаче информации называют *модуляцией.* Различают амплитудную, частотную, фазовую модуляции. Совокупность модуляторов и демодуляторов называют *модемами.*

Дискретизация по времени и уровню (квантование) непрерывных сообщений является физической основой работы цифровых систем передачи (ЦСП) современных систем и средств связи. Так как основная часть мощности реальных непрерывных сообщений сосредоточена в ограниченной полосе частот, ее выделяют устройствами (фильтрами), формирующими первичные сигналы. Согласно теореме В.А. Котельникова [48], непрерывная функция времени с ограниченным по ширине спектром полностью определяется отсчетами, взятыми через интервалы времени, называемыми *периодом дискретизации,*

$$T_д = 1/2f_{max}, \qquad (1.1)$$

где f_{max} - наивысшая частота спектра сигнала.

Если эту функцию рассматривать на конечном интервале времени Т , то число передаваемых отсчетов Т/Тд = $2f_{max}T$. Величину $f_{msx}T$ называют *базой сигнала.*

Из-за наличия помех и погрешностей ЦСП значения уровней амплитуд первичного сигнала могут передаваться с ограниченной точностью. Поэтому при дискретизации сигнала по уровню используют лишь конечное число значений, отстоящих друг от друга на фиксированную величину - *шаг дискретизации по уровню* (шаг *квантования).* Фактическое значение амплитуды непрерывной функции сигнала заменяется при этом ближайшим уровнем квантования. Погрешности в передаче уровней амплитуды сигнала рассматриваются как *шумы квантования.*

Для передачи по каналу связи с помощью импульсно-кодовой модуляции (ИКМ) квантованные сигналы преобразуются в кодовые комбинации импульсов с одинаковыми амплитудами и длительностью, т.е. в цифровую форму или *цифровой сигнал.* Простейший способ кодирования сигнала предполагает представление его числового значения в двоичной форме в виде соответствующей последовательности двоичных элементов - единиц и нулей.

Скорость передачи цифрового сигнала определяется числом передаваемых двоичных символов сигнала в единицу времени. Для одноканальной ИКМ единицей измерения или единичным элементом цифрового сигнала служит кодовый символ - *бит информации.* В одноканальной двоичной системе скорость передачи сообщений $B = 1/T_д.$, где $T_д$ - длительность передачи одного бита цифрового сигнала. Скорость передачи сообщений *B* измеряется в битах за секунду.

Основы технологии цифровой передачи данных. Начало применения цифровых технологий в сетях передачи данных связано с системами цифровой телефонии для передачи голоса по кабельным линиям связи (КЛС). Полоса частот спектра речевого сигнала, для которой на слух не ощущаются искажения голоса при его передаче по сети (оптимизированная по индексу артикуляции 0,7), составляет 3100 Гц и расположена в диапазоне 300...3400 Гц. Так как в реальном телефонном канале данная полоса частот выделяется фильтром, имеющим конечный спад частотной характеристики, в качестве расчетной ширины спектра *стандартного телефонного канала* было предложено использовать ширину полосы частот в 4 кГц.

При дискретизации такого спектра, в соответствии с теоремой Котельникова, частота дискретизации $f_д = 2f_B$, $f_в$ - верхняя частота спектра передаваемого аналогового сигнала. Для стандартного телефонного канала, имеющего $f_в$ = 4 кГц, *частота дискретизации* $f_д$ = 8 кГц, что соответствует максимальному *периоду дискретизации сигнала* $T_д = 1/ f_д$ = 125 мкс. Поэтому указанные период и частота дискретизации приняты в качестве основы при разработке стандартов цифровых систем передачи.

В ЦСП дискретизированный во времени входной аналоговый сигнал подвергается квантованию по амплитуде. Каждому значению уровня квантования амплитуды аналогового сигнала соответствует *двоичный цифровой*

код, т.е. квантованное значение амплитуды сигнала кодируется двоичным числом. Как правило, используют 7- или 8-битный двоичным *код.* Такое квантование позволяет передать $N=2^7= 128$ или $N=2^8 =256$ дискретных уровней амплитуды входного аналогового сигнала, что обеспечивает передачу качественного речевого сигнала с динамическим диапазоном по амплитуде $D=20\lg N=42$ или 48 дБ соответственно. При последовательной передаче двоичных символов (бит информации) на выходе аналого-цифрового преобразователя ЦСП получаем двоичный цифровой поток со скоростью передачи v = 56 кбит/с (8 кГц х 7 бит = 56 кбит/с при 7-битном кодировании) или v = 64 кбит/с (8 кГц х 8 бит = 64 кбит/с при 8-битном кодировании).

Канал со скоростью передачи v = 64 кбит/с называют *основным цифровым каналом* (ОЦК, который обозначают DS0 (или ЕО)).

В современных цифровых системах передачи информации используется *временное мультиплексирование.* Под *мультиплексированием* понимают объединение нескольких каналов с малыми емкостями, например, ОЦК, в один канал большей емкости, содержащий *n* входных каналов. *Мультиплексор* (рисунок 1.1) - устройство, осуществляющее операцию мультиплексирования, в частности, в ЦСП мультиплексируются *цифровые каналы передачи* (ЦКП). Мультиплексор по определению, формирует из *n* входных цифровых последовательностей или ЦКП одну выходную. Если скорость v передачи данных во всех каналах одинакова, то теоретически мультиплексор должен обеспечить на выходе скорость передачи данных, равную произведению *n* x v.

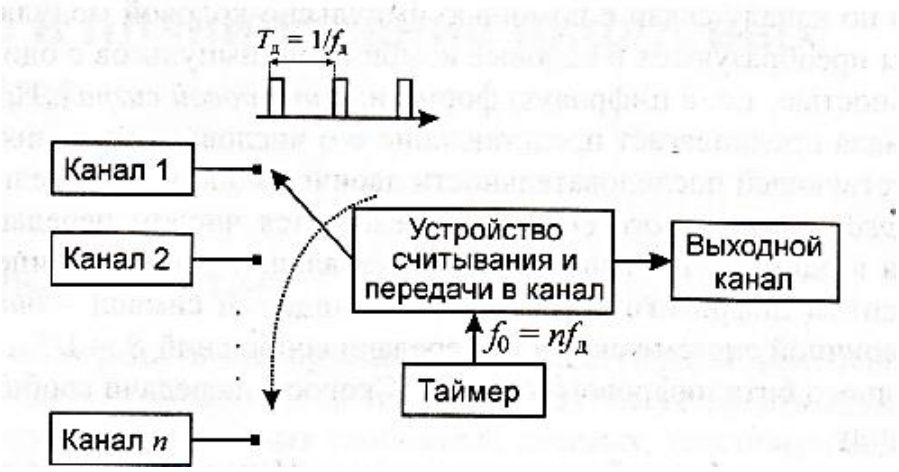


Рисунок 1.1 - Структурная схема мультиплексора

При использовании в качестве входного сигнал ОЦК со скоростью передачи 64 кбит/с с помощью мультиплексора типа *n:1* теоретически можно сформировать цифровые потоки со скоростью передачи *n* x 64 кбит/с. Так, для американского стандарта цифровой иерархии (с 24 ОЦК имеем 24 x 64 = 1536 кбит/с) скорость передачи цифрового потока на выходе первичного мультиплексора v = 1,536 Мбит/с. Для европейского стандарта цифровой иерархии (предусматривающего 30 ОЦК и 2 канала синхронизации и управления - 32 x 64 = 2048 кбит/с) скорость передачи v = 2,048 Мбит/с.

При построении цифровой иерархии ЦСП вводят понятие *иерархических уровней,* полагая, что на первом из них используются мультиплексоры, рассмотренные выше. Мультиплексоры второго уровня типа *m:1* объединяют выходы мультиплексоров первого уровня; мультиплексоры третьего уровня типа *l:1* объединяют выходы мультиплексоров второго уровня, мультиплексоры четвертого уровня типа *k:*1 объединяют выходы мультиплексоров третьего уровня и т.д. Это называют *каскадным соединением мультиплексоров.* На каждом уровне иерархии мультиплексор на выходе имеет свою скорость передачи (на втором - *n* ×*m* ×v, на третьем *n*×*m*×*l*×v, на четвертом -n×*m*×*l*×*k*×v). Варьируя *коэффициенты кратности n, m, I* , можно сформировать различные *иерархические наборы скоростей* передачи или *цифровые иерархии* ЦСП, которым соответствуют определенное число ОЦК на выходе мультиплексора соответствующего уровня.

Рисунок 1.2 – Общая структура сети электросвязи

Основные понятия сетей связи. При планировании и построении современных ЦСС обычно различают три сетевых уровня: уровень *первичной сети,* уровень *вторичных сетей* и уровень *систем или служб электросвязи.* Основой любой реальной сети связи является уровень неспециализированной (универсальной) первичной сети, представляющей собой совокупность узлов и соединяющих их типовых физических цепей, типовых каналов передачи и сетевых трактов. Таким образом, *цифровая первичная сеть* (ЦПС) - это базовая сеть типовых универсальных цифровых каналов передачи (ЦКП) и сетевых трактов, или *транспортная сеть,* образованная на базе сетевых узлов, сетевых

станций коммутации или оконечных устройств первичной сети и соединяющих их линий передачи. На основе ЦПС формируют и создают разнообразные цифровые вторичные сети (ЦВС).

Сетевые узлы ЦПС представляют собой комплекс аппаратуры ЦСП различных сетевых технологий, предназначенный для формирования, перераспределения ЦКП и сетевых трактов и подключения ЦВС, служб электросвязи и пользователей сети. В зависимости от вида первичной сети, к которой принадлежат сетевые узлы, их называют *магистральными, внутризоновыми, местными* или по имени корпоративной или ведомственной сети.

Сетевой тракт представляет собой *типовой групповой тракт* или несколько последовательно соединенных типовых групповых трактов с включенной на входе и выходе аппаратурой образования тракта. Если быть точнее, *сетевой тракт* - это транспортный объект сети трактов с уровнем, обеспечивающим целостность передачи информации по соединениям трактов от точки (порта полезной нагрузки или пользовательского интерфейса) формирования тракта в одном из сетевых узлов до точки (порта полезной нагрузки) его расформирования в другом сетевом узле.

Цифровые вторичные сети, предназначенные для доведения цифровых каналов до пользователей, являются специализированными и создаются на основе типовых универсальных каналов передачи ЦПС или специализированных каналов (или систем со специализированными пользовательскими интерфейсами) для первичных цифровых каналов или потоков полезной нагрузки. В состав ЦВС могут входить также цифровые технологические сети ЦТС), при этом образуются *цифровые вторичные технологические сети* (ЦВТС) [78].

Системы, специализированные по видам электросвязи, представляют собой комплекс средств, обеспечивающих предоставление пользователям определенных услуг. Они образуют уровень систем или служб электросвязи. Таким образом, *система или служба электросвязи* (рисунок 1.2) включает в себя вторичные сети и ряд подсистем (например, нумерации, сигнализации и т.п.).

Современное развитие телекоммуникационных сетей характеризуется усилением процессов интеграции первичной и вторичных сетей, и превращением ЦПС и ЦВС в единую мультисервисную сеть на базе ЦПС. Таким образом, структура ЦПС трансформируется, и возникает новая двухуровневая структура цифровой первичной сети - *транспортная сеть и сеть доступа* [30]. Общая архитектура современной цифровой сети (рисунок 1.3) состоит из основной (центральной) части – *транспортной сети* и окаймляющей ее периферийной части - *сети доступа. Сеть доступа* можно определить как сеть, по которой с помощью каналов и линий «последней мили» различные специализированные сигналы передаются от потребителей к *портам транспортной сети* и обратно.

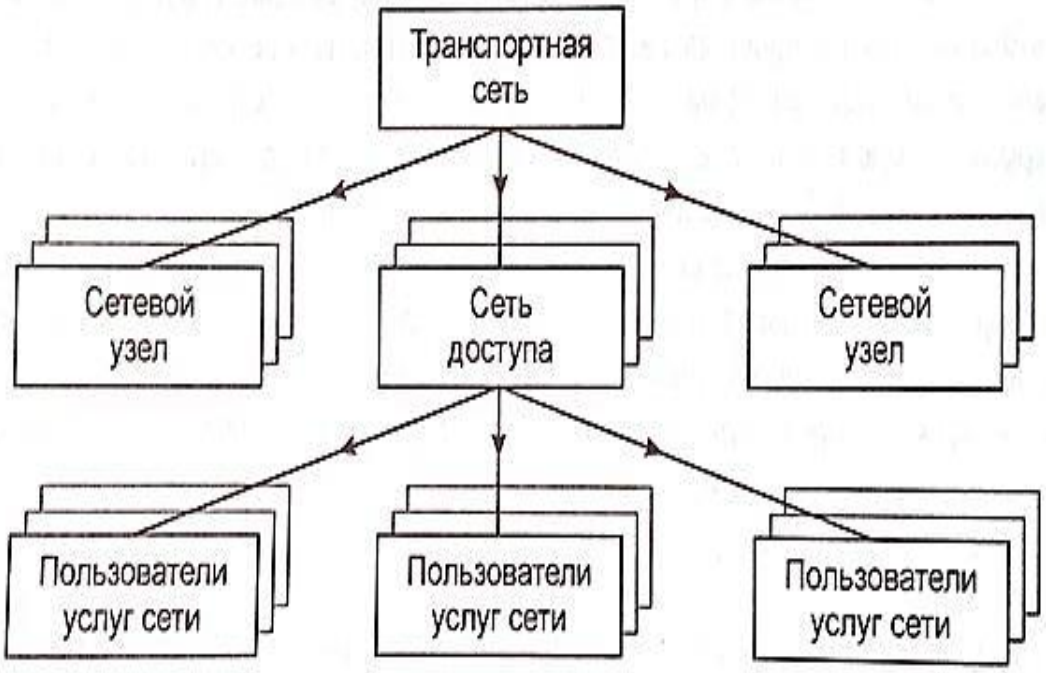


Рисунок 1.3 - Архитектура современной цифровой сети

1.2 Введение в цифровую иерархию сетей

Применяемые в настоящее время схемы цифровых иерархий были разработаны в начале 80-х годов. В *первой* из них, принятой в США и Канаде, для *первичного цифрового канала* (ПЦК) DS1 - канала *первой цифровой иерархии* - было выбрано значение скорости передачи v = 1544 кбит/с (коэффициент мультиплексирования *n* = 24 - двадцать четыре ОЦК).

Во *второй,* принятой в Японии, для DS1 использовалось то же значение скорости передачи.

В *третьей,* принятой в Европе (в том числе и в Российской Федерации) и Южной Америке, значение первичной скорости передачи было v = 2048 кбит/с *(n* = 32 - тридцать два ОЦК).

Первая цифровая иерархия (американский стандарт), порожденная первичной скоростью передачи 1544 кбит/с, дает последовательность скоростей: 1544-6312-44736-274176 кбит/с, которые обозначают DS1- DS2 - DS3 - DS4. Данная иерархия скоростей соответствует ряду коэффициентов мультиплексирования *n* = 24, *m* = 4, / = 7, *k* = 6 и позволяет передавать 24, 96, 672,4032 ОЦК или - каналов DS0.

Каналы DS0 - DS4 называют каналами 0-4-го уровней иерархии или *основным* цифровым каналом (ОЦК), *первичным цифровым каналом* (ПЦК), *вторичным цифровым каналом* (ВЦК), *третичным цифровым каналом* (ТЦК) и *четверичным цифровым каналом* (ЧЦК) соответственно.

Вторая цифровая иерархия (японский стандарт), порожденная первичной скоростью передачи 1544 кбит/с, дает последовательность скоростей 1544 - 6312 - 32064 - 97728 кбит/с или каналов передачи DS1 - DS2 - DSJ3 - DSJ4.

Данная иерархия скоростей с учетом канала передачи DS0 соответствует ряду коэффициентов мультиплексирования *n* = 24, m = 4, / = 5 Д = 3 и позволяет передавать 24, 96,480, 1440 ОЦК или - каналов DS0.

Третья цифровая иерархия (европейский стандарт), порожденная скоростью передачи 2048 кбит/с, дает последовательность скоростей 2048 - 8448 - 34368 - 139264 - 564992 кбит/с, которой соответствуют каналы передачи El - E2 - E3 - E4 - E5. Данная иерархия скоростей с учетом канала передачи DS0 соответствует ряду коэффициентов мультиплексирования *n* — 30, *m* = 4, *1 = 4*, *k* = 4, *i = 4* и позволяет передавать 30, 120, 480, 1920 и 7680 ОЦК или - каналов DS0. В соответствии с этим системы, реализующие данную иерархию, получили название ИКМ систем: ИКМ-30, ИКМ-120, ИКМ-480 и т.д.

Рассмотренные цифровые иерархии скоростей передачи получили название *плезиохронной цифровой иерархии* (ПЦИ/PDH).

Параллельное развитие трех различных иерархий на определенной стадии стало мешать развитию глобальных телекоммуникаций в мире, поэтому был разработан стандарт ITU-T [94], в соответствии с которым в качестве основных были стандартизированы три первые уровня первой иерархии (DS1- DS2 - DS3), четыре уровня второй иерархии (DS1 - DS2 -DSJ3 - DSJ4) и четыре уровня третьей иерархии (El - E2 - E3 - E4) и указаны схемы *кросс-мультиплексирования* иерархий (рисунок 1.4). В результате стандартизации были разработаны схемы плезиохронной цифровой иерархии (ПЦИ/PDH) и синхронной цифровой иерархии «СЦИ/SDH).

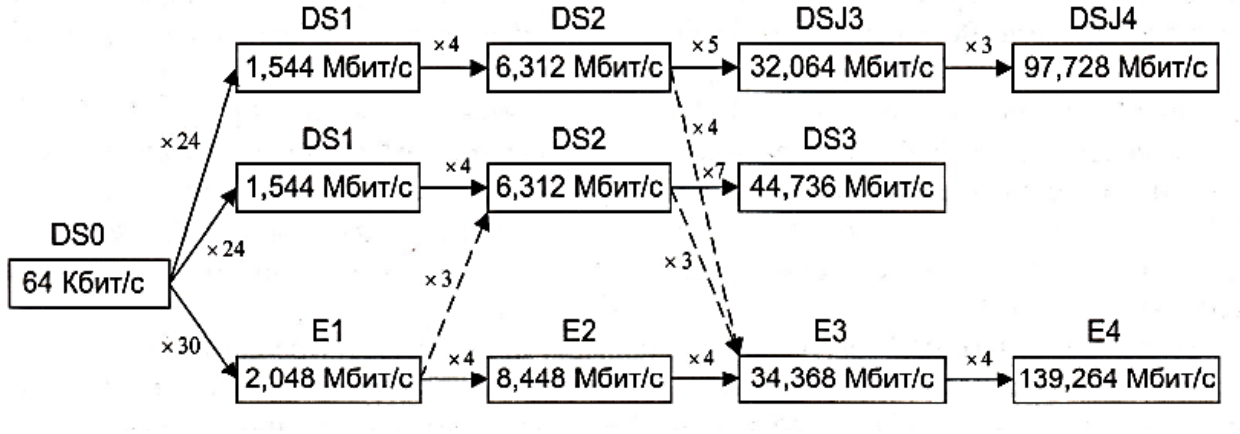


Рисунок 1.4 - Схемы мультиплексирования и кросс-мультиплексирования (пунктир) для различных стандартов цифровых иерархий

Основными скоростями передачи в плезиохронной цифровой иерархии являются значение 1,544 Мбит/с (для краткости 1,5 Мбит/с) и 2,048 Мбит/с (для краткости 2 Мбит/с). Высшими скоростями являются значения 44,736 Мбит/с (для краткости 45 Мбит/с) и 139,264 Мбит/с (для краткости 140 Мбит/с).

Недостатком плезиохронной цифровой иерархии является то, что переход от одного уровня скоростей к другому происходит последовательно в соответствии со схемой, представленной на рисунке 1.4, как в прямом, так и в

обратном направлениях, что усложняет процесс «распаковки» информации. Передающая и приемные системы всегда взаимодействуют между собой на одном из данных уровней. Другим недостатком является то, что реализация ряда функций (контроль линии передачи, защитные переключения и др.), не относящихся непосредственно к транспортировке, требует отдельного оборудования, выпускаемого часто различными производителями, что приводит к проблеме совместимости.

В многоканальных ЦСП используют временное мультиплексирование и разделение каналов [36, 61]. На первом уровне производится синхронное побайтное мультиплексирование ОЦК - 32-х (в европейской иерархии) или 24-х (в американской и японской иерархиях), имеющих скорость передачи 64 кбит/с [36]. На последующих уровнях иерархии компонентные потоки объединяются в групповой выходной уже не побайтно, а побитно. При этом скорости компонентных потоков выравнивают, вставляя в компонентные потоки с меньшей скоростью специальные биты, которые удаляются на стороне приема при демультиплексировании (процедура *положительного стаффинга)* с помощью служебного канала в составе группового сигнала.

Существенными недостатками технологии ПЦИ/PDH являются наличие нескольких иерархий и плезиохронной характер мультиплексирования, затрудняющий ввод и вывод отдельных цифровых каналов в промежуточных узлах сети. Кроме того, при нарушении синхронизации группового сигнала сравнительно много времени требуется для многоступенчатого восстановления синхронизации компонентных потоков. Однако наиболее серьезный недостаток ПЦИ/PDH - практически полное отсутствие средств *сетевого автоматизированного управления,* без которого невозможно создать надежную сеть связи с высоким качеством обслуживания. Все это, в конечном итоге, привело к разработке и появлению технологии *синхронной цифровой иерархии* (СЦИ/SDH).

Технология СЦИ/SDH позволяет организовать универсальную транспортную сеть, выполняющую функции передачи информации, контроля и управления как сетевыми элементами, так и всей сетью в целом. В транспортной сети СЦИ/SDH используется принцип транспортировки цифровых сигналов в стандартных контейнерах, помеченных специальными указателями. Все операции с контейнерами производятся независимо от их содержания и наполнения, чем и достигается прозрачность сети СЦИ/SDH, т.е. способность транспортировать различные сигналы ПЦИ/PDH, потоки ячеек АТМ и т.п. [36].

Технология ПЦИ/PDH поддерживает следующие уровни иерархии цифровых каналов: абонентский или основной цифровой канал Е0 (64 кбит/с) и цифровые каналы уровней Е1 (2,048 Мбит/с), Е2 (8,448 Мбит/с), Е3 (34,368 Мбит/с), Е4 (139,264 Мбит/с). Уровень цифрового канала Е5 (564,992 Мбит/с) определен в Рек. ITU-T, но на практике обычно его не используют.

Технология СЦИ/SDH (европейский стандарт) поддерживает уровни иерархии цифровых каналов со скоростями передачи 2,048 Мбит/с

(пользовательский интерфейс E1 в соответствии с Рек. ITU-T G.703.), 155,520, 622,080, 2,488 Гбит/с, и т.д. (интерфейсы передачи, соответствующие синхронным транспортным модулям STM-N (N = 1, 4, 16,...)).

1.3 Принципы планирования и построения цифровых сетей

Цифровые первичные сети, являющиеся базовыми транспортными или магистральными, служат основой для построения всего многообразия современных мультисервисных сетей связи. Поэтому, учитывая необходимость разумного ограничения всего спектра затрагиваемых проблем, ограничимся рассмотрением вопросов планирования и построения транспортных сетей и принципов интеграции ЦПС и ЦВС и/или ЦВТС в мультисервисные сети на основе современных сетевых технологий. Принципы планирования и построения транспортных сетей являются результатом обобщения известных и применяемых на практике подходов к планированию и построению сетей связи различного масштаба [77, 78]. Основные принципы планирования транспортных сетей заключаются в следующем:

– определение общей стратегии построения и использования (возможность двойного применения и т.п.) сети;

– планирование сети на длительную перспективу с учетом ее развития;

– комплексное применение современных сетевых технологий;

– учет специальных условий и требований заказчика (пользователей) сети;

– обеспечение необходимого уровня эксплуатации планируемой сети.

Специальные условия и требования заказчика сети могут содержать определенные ограничения, например, финансовые, временные, природно-климатические, ограничения на топологию сети и др. Таким образом, планирование современных ЦПС и цифровых корпоративных сетей является достаточно сложной и серьезной задачей как для заказчиков (пользователей) сети, так и для разработчиков или системных интеграторов. Эта задача требует учета многих факторов и системного подхода в планировании сети. Приведем основные этапы планирования сети связи:

– определение существующей и планируемой загрузки (объема трафика);

– определение возможности двойного применения;

– определение объемов трафика по типу и распределению (составление матрицы распределения трафика для всех узлов сети);

– определение видов предоставляемых услуг;

– выбор среды передачи;

– определение базовых сетевых технологий;

– выбор базовых вариантов архитектуры и топологии сети;

– определение необходимых значений уровня надежности и степени резервирования;

– оптимизация топологии;

– сопряжение сети с другими сетями;

– планирование управления и синхронизации;
– планирование системы эксплуатационно-технического обслуживания;
– расчет и уточнение стоимости;
– оптимизация сети по стоимостным и качественным характеристикам.

1.4 Архитектура и топология сетей связи

Общие сведения. Под архитектурой сети будем понимать совокупность взаимосвязанных сетевых технологий и соответствующих интерфейсов, реализованных с учетом структуры ее управления и образующих иерархическое дерево всей сети, начиная от транспортной сети и заканчивая пользовательскими интерфейсами в сети доступа. Совокупность стандартов всех интерфейсов, входящие в архитектуру сети, образует соответственно стандарты на архитектуру оборудования систем связи. Понятия архитектуры и топологии сетей тесно связаны друг с другом и с используемыми при построении сети базовыми сетевыми технологиями. Образно говоря, архитектура сети - это дерево целей, корнями уходящее в транспортную сеть, а ветвями - к пользователям сети. Топология же сети в такой аналогии - это состоящий из определенных видов деревьев, высаженных по проекту архитектора и образующий единый архитектурный ансамбль.

Базовые сетевые технологии. Под сетевыми технологиями будем понимать совокупность технологий цифровых систем передачи, обеспечивающих создание всего разнообразия каналов связи от пользователей сети к сетевым узлам и между узлами сети. Базовые сетевые технологии для цифровых транспортных сетей обеспечивают организацию трансфертных магистралей и интеграцию различных видов трафика в сети. На базе цифровых транспортных сетей формируется и создается все разнообразие выделенных цифровых кагалов передачи (ЦКП) или связи (ЦКС), которые и образуют цифровые сети с коммутацией каналов. Базовыми сетевыми технологиями для транспортных сетей являются ПЦИ/PDH и ГЦИ/SDH. В транспортных сетях используется иерархия скоростей передачи в соответствии с международными рекомендациями.

Технология ПЦИ/PDH поддерживает следующие уровни иерархии цифровых каналов: абонентский или основной канал ЕО (64 кбит/с) и пользовательские каналы уровней Е1 (2,048 Мбит/с), Е2 (8,448 Мбит/с), Е3 (34,368 Мбит/с), Е4 (139,264 Мбит/с). Уровень цифрового канала Е5 (564,992 Мбит/с) определен в Рек. ITU-T, но на практике обычно не используется. При этом цифровые каналы ПЦИ/PDH являются входными (полезной нагрузкой) для пользовательских интерфейсов сетей СЦИ/SDH. Применительно к европейскому стандарту интерфейс передачи Е1 (по стандарту G.703) ЦСП ПЦИ/PDH является входным каналом (полезной нагрузкой) для транспортной сети СЦИ/SDH, в которой они передаются по сетевым трактам в магистралях сети в виде виртуальных контейнеров соответствующего уровня.

Технология СЦИ/SDH, как это уже указывалось, поддерживает уровни иерархии каналов (по европейскому стандарту) со скоростями передачи 2,048

Мбит/с (пользовательский интерфейс E1 по стандарту G.703) и 155,520 Мбит/с, 622,080 Мбит/с, 2,488 Гбит/с и т.д. (интерфейсы передачи, соответствующие синхронным транспортным модулям STM-N (N= 1, 4, 16, ...)). В транспортной сети пользовательские интерфейсы, соответствующие синхронным транспортным модулям STM-N более низкого уровня, могут служить полезной нагрузкой для сетевых элементов сети СЦИ/SDH более высокого уровня иерархии.

Технология СЦИ/SDH основана на полной синхронизации цифровых каналов и сетевых элементов в пределах всей сети, что обеспечивается с помощью соответствующей системы синхронизации ЦПС и системы управления транспортной сетью. В транспортной сети СЦИ/SDH синхронная передача виртуальных контейнеров (упакованных и специальным образом помеченных кадров) соответствующего уровня позволяет получить доступ к низкоскоростным пользовательским каналам (полезной нагрузке) без демультиплексирования высокоскоростного цифрового потока. Технология СЦИ/SDH позволяет с помощью соответствующих аппаратных и программных средств создавать одновременно три наложенные сети: транспортную для передачи полезной нагрузки, сеть управления и сеть синхронизации для передачи сигналов синхронизации.

На основе транспортной сети СЦИ/SDH можно создавать наложенные сети с коммутацией каналов, например, цифровые с интеграцией служб (ЦСИС/ISDN) и коммутацией пакетов, в частности, сети Frame Relay (FR), сети ATM ((Asynchronous Transfer Mode) или асинхронного режима передачи (АРП/ATM)). Технология ATM облегчила эту задачу, взяв за основу стандарты СЦИ/SDH в качестве стандартов физического уровня. Поэтому в транспортной сети СЦИ/SDH сеть ATM может быть интегрирована поверх сети СЦИ/SDH, как наложенная сеть, при этом образуются одновременно и транспортная, и вторичные сети и осуществляются функции сети доступа.

Технология ATM разрабатывалась как единая универсальная транспортная технология нового поколения сетей с интеграцией услуг, так называемых *широкополосных цифровых сетей с интеграцией служб* (Ш-ЦСИС или B-ISDN) [26, 33]. Однако технология ATM, к сожалению, не стала в полной мере технологией транспортных сетей по целому ряду причин, которые в различных аспектах будут обсуждены ниже.

Уникальность технологии ATM состоит в том, что она как транспортная технология совместима со всеми базовыми сетевыми технологиями глобальных сетей - сети Интернет, основой которой является стек протоколов TCP/IP, СЦИ/SDH, ПЦИ/PDH, Frame Relay и с сетевыми технологиями локальных сетей. Технология ATM обеспечивает передачу в рамках одной транспортной сети различных видов трафика (голоса, видео, данных), имеет иерархию скоростей передачи в широком диапазоне (в настоящее время 25 Мбит/с... 10 Гбит/с) с гарантированной пропускной способностью для ответственных приложений.

Технология ATM не определяет новые стандарты для физического уровня сети, а использует существующие. Основным стандартом для технологии ATM является физический уровень каналов сетевых технологий СЦИ/SDH и ПЦИ/PDH. Именно потому, что технология ATM поддерживает все основные существующие виды трафика, она выбрана в качестве транспортной среды сетей Ш-ЦСИС или B-ISDN. С другой стороны, технология ATM имеет общие транспортные протоколы для локальных (ЛВС) и глобальных сетей и обеспечивает их взаимодействие.

Технологии сети Интернет или сети на основе стека протоколов ТСРЯР (Transmission Control Protocol/Internet Protocol - протокол управления передачей/протокол сети Интернет) занимают особое положение среди сетевых технологий [26, 42]. Они играют роль сетевой технологии, объединяющей сети любых типов и технологий, включая глобальные транспортные сети всех известных технологий. Таким образом, сети на основе стека протоколов ТСРЯР относятся к сетевым технологиям более высокого уровня, чем сетевые технологии собственно глобальных транспортных сетей. При этом, цифровые транспортные сети СЦИ/SDH, являясь основой для создания большинства наложенных телекоммуникационных сетей, позволяют интегрировать различные сетевые технологии в единую мультисервисную телекоммуникационную и информационную (инфокоммуникационную) сеть на физическом и канальном уровнях.

Появление *оптических транспортных сетей* с использованием технологии спектрального или волнового мультиплексирования (ВМП/WDM (Wave Division Multiplexing)) и волнового мультиплексирования (ПВМП/DWDM (Dense Wave Division Multiplexing)) расширило возможности сетевых технологий в построении транспортных сетей. Указанные сетевые технологии ВМП/WDM и ПВМП/DWDM уже вышли из исследовательских лабораторий и находятся среди освоенных промышленных технологий, которые органично сочетаются и интегрируются с технологией СЦИ/SDH [11, 16,61].

Таким образом, современный уровень развития сетевых технологий цифровых глобальных сетей позволяет при планировании архитектуры и разработке топологии цифровых транспортных или магистральных сетей и корпоративных сетей использовать следующие базовые технологии:

а) TCP/IP - технология сети Интернет, основой которой является стек протоколов TCP/IP или протокол управления передачей/протокол сети Интернет;

б) ATM - технология асинхронного режима передачи (переноса);

в) SDH - технология СЦИ;

г) WDM - технология волнового мультиплексирования (ВМП);

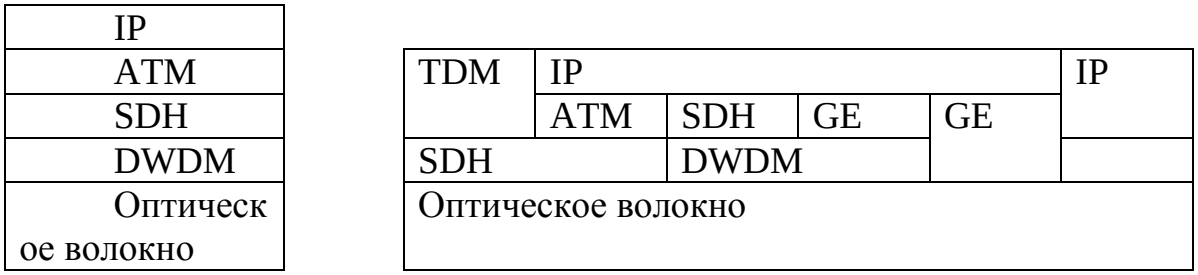
д) DWDM - технология плотного волнового мультиплексирования (ПВМП).

В настоящее время, по-видимому, наиболее рациональной как для глобальных, так и магистральных транспортных сетей является многоуровневая архитектура сети вида IP ATM/SDHDWDM.

Такую архитектуру транспортных сетей можно реализовать на основе современных аппаратных средств, выпускаемых ведущими мировыми производителями аппаратуры ЦСП.

На рисунке 1.5 представлены варианты архитектуры интегрированной мультисервисной сети на основе рассмотренных базовых сетевых технологий и некоторых новых таких, как оптический Интернет, Gigabit Ethernet (GE), которые более подробно будут рассмотрены далее.

Для цифровых мультисервисных сетей, включая современные цифровые корпоративные сети большого масштаба, по-видимому, на ближайшие годы определяющей будет многослойная архитектура транспортной сети вида IP/ATM/SDH/WDM (DWDM). Именно такая архитектура сети позволит интегрировать на сетевом уровне базовые сетевые технологии в единую мультисервисную инфокоммуникационную сеть различного масштаба.



а) традиционной; б) перспективной IP-сети.

Рисунок 1.5 - Варианты архитектуры интегрированной мультисервисной сети

Взаимосвязь архитектуры и топологии сетей связи. Выбор *архитектуры* построения транспортной сети основывается на применении *типовых архитектурно-топологических решений* и их комбинаций для отдельных сегментов сети и сети в целом. Однако определение архитектурно-топологических решений при проектировании конкретной транспортной сети не сводятся только к выбору определенных комбинаций типовых топологических структур, так называемых *сетевых шаблонов.* Понятие архитектуры транспортной или корпоративной сети шире и включает в себя следующие три базовые логические составляющие: *принципы построения, сетевые шаблоны и технические позиции* [26, 79].

Применительно к архитектуре транспортных сетей основные принципы построения определены выше. Типовые топологические структуры или типовые сетевые шаблоны для транспортной сети СЦИ/SDH достаточно хорошо описаны в технической литературе [26, 61]. Новые возможности аппаратуры СЦИ/SDH расширяют возможности выбора типовых сетевых

шаблонов для транспортных сетей и позволяют по-новому интегрировать различные сетевые технологии на базе ЦПС.

Техническая позиция определяет и уточняет параметры выбранных сетевых технологий, сетевых элементов, протоколов взаимодействия, предоставляемых услуг и т.д. Архитектура современной цифровой корпоративной сети большого масштаба может быть описана, например, следующими техническими позициями [26, 79]:

- сетевые транспортные протоколы;
- маршрутизация в сети;
- качество услуг;
- адресация в сетях передачи данных;
- коммутация в локальных сетях;
- объединение коммутации и маршрутизации;
- организация транспортной сети;
- организация глобальной транспортной (магистральной) сети;
- организация коммутации ЦКП;
- организация ЦВС и/или сетей доступа.

Разработка технических позиций для конкретной транспортной или корпоративной сети требует глубокого знания базовых сетевых технологий и их аппаратной реализации и предусматривает тщательную проработку схем организации и топологии всех уровней и сегментов сети и сети в целом.

При планировании *топологии* транспортных сетей чаще применяют элементарные сетевые шаблоны типа *кольцо* и *линейка,* образующие сетевые шаблоны: *кольцо - линейка* и *кольцо - кольцо* - с одинаковым или разными уровнями транспортных модулей, как в *кольцах,* так и *линейных трактах* между отдельными *кольцами.* Основные варианты таких типовых сетевых шаблонов и примеры топологических решений для сетей СЦИ/SDH представлены в [61]. Такие возможности открывает аппаратура ЦСП СЦИ/SDH нового поколения, освоенная ведущими мировыми производителями.

1.5 Основы инженерного планирования сетей

Основные этапы и «золотые правила» планирования. Учитывая, что в настоящее время волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) наиболее перспективны для построения различных сетей связи, а ОК - основной вид физической среды передачи, будем иметь в виду в основном ВОЛС, хотя в конкретных случаях оптимальными техническими решениями могут быть и другие.

Как для транспортной, так и корпоративной сетей предусматриваются следующие основные этапы инженерного планирования сетей [77]:

- определение или задание требуемой емкости (базовой скорости передачи) сети;
- выбор среды передачи (КЛС, ВОЛС, РРЛ и т.п.);

– выбор вида ВОЛС и типа или типов ОК для них;

– выбор базовых сетевых технологий и систем передачи (ПЦИ/PDH, СЦИ/SDH, АТМ и т.п.);

– выбор конфигурации сети и схем резервирования;

– выбор аппаратуры ЦСП и другого сетевого оборудования;

– разработка схем организации сети в соответствии с исходными данными или техническими условиями;

– оптимизация схемы организации сети по заданным критериям в соответствии с общей стратегией или концепцией построения сети;

– первичная оптимизация топологии и схемы организации сети по стоимостным показателям;

– разработка технического задания на проектирование сети;

– разработка принципов эксплуатационно-технического обслуживания;

– определение этапов и приоритетов в построении сети.

Конкретизации перечисленных этапов инженерного планирования посвящена практически вся предлагаемая вниманию читателей книга. В данной главе выделим основные моменты подхода к проблеме инженерного планирования сетей, так называемые «золотые правила планирования» цифровых первичных сетей связи [77]:

– Долгосрочное планирование;

– Выбор среды передачи;

– Анализ существующего и определение планируемого трафиков;

– Классификация узлов сети и выбор базовых топологий сети;

– Анализ и определение требований по надежности;

– Обеспечение заданного уровня надежности в сети;

– Определение энергетического потенциала линий связи и аппаратуры ЦСП;

– Определение стоимости линий связи, аппаратуры и оборудования ЦСП;

- Учет специальных условий и требований заказчика (пользователя) сети;

- Оптимизация сети (с помощью соответствующих программных средств);

- Деление сети на управляемые части или сегменты.

При этом должны предусматриваться возможности дальнейшего развития и необходимый уровень эксплуатации планируемой сети. Кроме этого, необходимо учитывать основные информационно-технические характеристики, которые существенно определяют возможности бушующей сети по предоставлению гарантированного качества обслуживания пользователей и всей сети в целом. Применительно к первичным или транспортным сетям - это следующие характеристики:

– пропускная способность транспортных магистралей или базовые скорости передачи, определяемые уровнем транспортных модулей ЦСП СЦИ/SDH (STM-N, N=1,4,16,...);

– объем входящего и исходящего трафиков в узлах сети;

– суммарный трафик в трактах и магистралях сети;

– надежность или коэффициент готовности сети в целом.

На основных этапах планирования предусматривается решение следующих задач:

– определение существующей и планируемой загрузок сети, видов и объема предоставляемых услуг, составление матриц первичного распределения трафика между узлами сети (обычно в виде потока трафика в эрлангах или в виде определенного числа цифровых потоков *n* x E1(E0));

– определение базовых сетевых технологий на основе выбранной среды передачи;

– выбор базовых вариантов архитектуры и топологии сети на основе конкретных ЦСП;

– обеспечение необходимого уровня надежности сети на основе комплекса мероприятий, включая резервирование;

– оптимизация топологии (с учетом резервирования линий и трактов);

– определение базовой стоимости сети;

– оптимизация сети по стоимостным характеристикам.

Определение энергетического потенциала ВОЛС с учетом потерь в КЛС и ОК, чувствительности и энергетического потенциала приемо-передающих (агрегатных) блоков аппаратуры ЦСП, достаточно известная инженерная задача, которая подробно описана, например, в [10, И, 66]. Она сводится к расчету энергетического потенциала ВОЛС с учетом дисперсии ОВ в ОК и выбору типов агрегатных блоков аппаратуры СЦИ/SDH с учетом длины волны излучения. Энергетический потенциал линии позволяет в конечном итоге определить максимальное расстояние между узлами первичной сети или, если быть точнее, максимально возможную длину ОК между узлами сети.

Кратко рассмотрим схему такого расчета. Для оценок можно принять, что в одномодовых ОВ для ОК на длине волны* 1550нм типичное значение потерь а = 0,2 дБ/км, дисперсия ОВ D = 10 пс/км/нм. Средняя чувствительность фотоприёмника модулей аппаратуры СЦИ/SDH при коэффициенте ошибок не более 10^{-9} обычно S_{BX} = -(37...40)дБм. На выходе агрегатных блоков аппаратуры СЦИ/SDH (точнее в ОВ на входе ОК) уровень мощности излучения $P_{вых}$ = -(10...15) дБм. Таким образом, зная энергетический потенциал и потери в линии, можно определить максимальную длину ОК ВОЛС между узлами первичной сети или *протяженность регенерационного участка*

$$L_{волс} = (S_{BX} - P_{вых})/\alpha. \qquad (1.2)$$

Расчеты показывают, что для типичных значений потерь в волокне ОК и типичных характеристик интерфейсов приема-передачи агрегатных блоков аппаратуры СЦИ/SDH максимальная длина ВОЛС лежит в пределах 100...120 км. При точном расчете максимальной длины ВОЛС необходимо учитывать дисперсию для конкретных типов ОВ в ОК и выбирать конкретные стандартизованные агрегатные блоки аппаратуры ЩИ/SDH в соответствии с их паспортными характеристиками.

Оптимизация и резервирование сетей. Оптимизация создаваемой сети сводится к оптимизации топологии транспортной сети, сетей доступа, а затем и всей сети в целом. Определяющей во всем этом процессе является оптимизация топологии транспортной сети. Рассмотрим схему и последовательность такой оптимизации, что требует применения соответствующего математического аппарата и достаточно мощных программных средств.

Оптимизация топологии транспортной сети основана на анализе структуры сети с учетом ее назначения, распределения трафика между узлами и применении соответствующих методик оптимизации по заданным критериям (например, таким, как стоимость, качество и т.п.). Для этого на основе первичного анализа загрузки на узлах сети задаем исходящий от пользователей трафик в узлах сети, затем определяем матрицу распределения трафика для выбранной топологии сети на основе заданной нормы загрузки линий и рассчитываем нормированную (на число потоков Е1 или относительную нагрузку) матрицу распределения трафика между узлами сети. Полученная нормированная матрица позволит рассчитать загрузку трактов между узлами сети в виде цифровых потоков $N_i \times E1$, где i = 1, 2, 3, $к$-номер тракта в сети. При этом задается норма загрузки сети по трактам для различных категорий пользователей сети. Например, для абонентов - пользователей каналов тональной "чистоты (ТЧ), подключаемым к АТС, - норма загрузки каналов (в эрлангах) обычно принималась равной 0,05 Е, а для пользователей услуг ISDN - 0,25 Е.

Выбор вариантов и схем резервирования линий и трактов диктуется исходными требованиями к сети и качеству обслуживания для определенных категорий пользователей или аксиальными требованиями, предъявляемыми к сегментам транспортной сети, на основе гипсовых строят специальные вторичные сети, например, технологические. В транспортных сетях на основе аппаратуры СЦИ/SDH основными вариантами резервирования являются кольцевое типа SNCP (Subnetwork Connection Protection) со 100%-ым резервированием трактов (трафика) по схеме 1:N и типа MS-SPRing (Multiplex Section Shared Protected Ring) по ***с***хеме 1+1, т.е. со 100%-ым резервированием всей емкости линии, что требует использования 50% емкости в кольце СЦИ/SDH для резервирования.

При резервировании трафика на уровне трактов уточняют и корректируют реальную загрузку линий и трактов в сети. При этом в транспортной сети в зависимости от вида и типа «меняемого оборудования ЦСП СЦИ/SDH» возможны различные варианты и схемы резервирования.

2 Требования к проектированию телекоммуникационных систем

2.1 Характеристики современных мультисервисных сетей

Общие сведения. Технологической основой для интеграции сетевых технологий и появления мультисервисных сетей являются универсальные среды, по которым передаются цифровые потоки с любой мультимедийной информацией, и специальные транспортные протоколы, позволяющие осуществлять эту передачу с заданной скоростью и требуемым качеством обслуживания. Эта возможность позволяет предоставлять принципиально новые услуги, возникающие на стыке традиционных технологий телефонии, передачи данных и телевидения. Процесс интеграции и конвергенции сетевых технологий приводит с одной стороны к расширению номенклатуры услуг, а значит, и к новым возможностям для операторов в смысле привлечения новых абонентов и увеличения доходов, а с другой - к увеличению конкуренции, поскольку последняя возникает и с операторами, которые ранее работали в смежных областях. Таким образом, в современных условиях важность и необходимость тщательного планирования сетей и номенклатуры услуг для предложения на рынке неизмеримо возросли. При этом анализ услуг сетей операторов связи с точки зрения того, для каких категорий клиентов они предоставляются - операторам нижнего уровня, корпоративным или индивидуальным пользователям, а также, какие типы услуг будут приносить доходы, а какие в первую очередь будут служить средством привлечения пользователей сети, становится определяющим в планировании всего сетевого бизнеса. Задача планирования сетей двойного назначения (например, корпоративных сетей для технологических приложений и одновременно развития сетевого бизнеса) требует учета специфики их назначения, построения и использования.

Кроме этого, необходимо четко понимать, как строить универсальную мультисервисную сеть для предоставления новых услуг и какие требования к ней предъявлять. В настоящее время большинство операторов считают, что построению мультисервисных сетей альтернативы не существует. Повсеместному существованию отдельных сетей телефонии и передачи данных, по крайней мере, при построении новых сетей, по-видимому, приходит конец.

Критерии выбора сетевых технологий. Базовые сетевые технологии можно использовать для построения сетей как магистральных транспортных (и подточения к ним сетей доступа и различных пользователей), так и интегрированных мультисервисных. Основное различие между ними заключается в стоимости и сложности реализацией. Для правильного выбора базовой сетевой технологии или их совокупности следует проанализировать конкретные требования к планируемой цифровой сети.

В качестве критериев выбора сетевой технологии приведем следующие [26, 78]:

– Количество предоставляемых услуг.
– Качество обслуживания QoS (Quality of Service).
– Масштабируемость сети.
– Стоимость сети.
– Окупаемость инвестиций.
– Повышение эффективности управления сетью и организаций (органов), в интересах которых она создается;
– Совместимость с существующей системой кабельных линий связи;
– Совместимость с имеющимся сетевым оборудованием;
– Возможность совместимости или взаимосвязи с другими сетями.

Качество обслуживания QoS в сети играет очень важную роль. Появление новых услуг и развитие мультимедийных приложений предъявляют очень жесткие требования ко всей сети. При выборе качества обслуживания необходимо разделить пользователей по приоритету обслуживания, что особенно существенно для больших мультисервисных корпоративных сетей. Многие операторы предоставляют услуги на основе так называемого сервисного соглашения SLA (Service Level Agreement), которое определяет перечень предоставляемых услуг с учетом их важности.

Слова *расширяемость* и *масштабируемость сети* иногда используют как синонимы, однако это различные понятия. *Расширяемость сети* - возможность сравнительно легко (в определенных пределах) добавлять отдельные сетевые элементы (пользователей, служб), наращивать сегменты сети доступа и заменять существующую аппаратуру более мощной.

Масштабируемость сети позволяет наращивать число сетевых элементов (узлов) и протяженность трактов в очень широких пределах без снижения пропускной способности транспортных магистралей. Для обеспечения хорошей масштабируемости сети приходится применять специальное телекоммуникационное оборудование и определенным образом структурировать топологию сети.

Стоимость сети в конечном итоге является решающим фактором при ее планировании и построении. Необходимо учитывать соотношение стоимости и производительности сети и правильно комбинировать различные сетевые технологии для достижения максимальной эффективности.

Совместимость сетевого оборудования с существующими системами кабельных линии связи позволяет снизить затраты и ускорить строительство сети (особенно это касается сетей доступа для подключения пользователей). Поэтому при выборе конкретных сетевых технологий следует учитывать тип имеющейся кабельной системы и требуемые расстояния между сетевыми элементами и пользователями.

Практика построения цифровых сетей разного масштаба показывает, что основным критерием развития бизнеса является качество обслуживания в сети. Именно им определяется, сможет ли сеть успешно работать с различными приложениями, требующими значительной полосы и высокого качества

обслуживания такими, как видеоконференции, мультимедийные приложения и другие, которые все шире применяются во всем мире.

Выбор сетевой технологии для построения мультисервисной сети. Новые услуги сетей связи все чаще представляют собой объединение традиционных услуг телефонии, видео и передачи данных и соответственно требуют универсальных мультисервисных, приспособленных к таким услугам сетей. Универсальность сети предполагает прежде всего ее назначение:

– поддерживать передачу информационных потоков для всех необходимых протоколов;

– поддерживать необходимый уровень качества передачи с возможностью контроля и обеспечения гарантий этого качества на всем протяжении сети;

– удовлетворять необходимым требованиям по обеспечению безопасности при заданном качестве обслуживания.

Несмотря на взрывной рост объемов передачи данных, почти столь же быстрыми темпами падают и тарифы, поскольку полезность передаваемой информации не увеличивается так же быстро, как ее объем. Поэтому вывод очевиден: еще на протяжении многих лет основным источником доходов операторов будут услуги телефонной сети. Таким образом, при всей перспективе услуг передачи данных строить сети только для них в настоящее время нецелесообразно: оптимально построенная по всем правилам сеть, предоставляющая только базовые услуги Интернет с поддержкой необходимого качества обслуживания и гарантий безопасности, себя не окупит.

Современная сеть должна быть универсальной должна предназначаться для передачи всех типов информационных потоков (голоса, данных и видео) и должна быть построена с учетом необходимости обеспечения качества передачи и безопасности информационных потоков, а это требует значительных инвестиций.

Технология ATM позволяет создавать мультисервисные операторские сети. Она стандартизована, основана на протоколе с установлением соединения и обеспечивает в сети:

- встроенные средства контроля качества;
- интеграцию с традиционной телефонией и с технологией TDM (Time Division Multiplexing);
- встроенные средства защиты безопасности;
- поддержку всех типов услуг и уровня качества обслуживания.

Неслучайно многие новые технологии, ориентированные на предоставление в первую очередь IP-услуг, основаны на технологии ATM. Однако, обладая всеми необходимыми достоинствами с точки зрения качественного транспорта всех типов информационных потоков, включая IP-трафик, технология ATM изначально разрабатывалась без тщательного учета особенностей IP-трафика. Например, она требует значительных ресурсов на установление соединений между граничными устройствами доступа к магистральной транспортной сети.

Разработка процедур автоматизации установления соединений в соответствии с маршрутами IP-трафика с помощью нового протокола MPLS (Multiprotocol Label Switching), называемого MPLS/ATM, открывает новые возможности для сети ATM. Этот протокол позволит использовать технологию ATM для передачи потоков на основе протокола IP и других протоколов сетевого уровня, в то время как остальные информационные потоки (голос, видео и др.) передаются традиционным образом с использованием встроенных средств ATM. Кроме этого, начаты работы над спецификациями MPLS/Ethernet.

Таким образом, на ближайшие годы одним из лучших вариантов выбора сетевой технологии для построения мультисервисной сети оператора, включая и сети IP, по-видимому, будет технология ATM (возможно, в сочетании с протоколом MPLS/ATM).

2.2 Основные характеристики транспортных сетей

Информационно-технические характеристики транспортной сети, которые определяют ее возможности по предоставлению гарантированного качества услуг для пользователей и всей сети в целом, обычно задаются на этапе планирования и уточняются в результате профилирования и оптимизации сети. К ним относятся следующие основные характеристики:

– пропускная способность транспортных магистралей или базовые скорости передачи;

– объем входящего и исходящего трафиков в сетевых узлах;

– суммарный трафик в сетевых трактах и транспортных магистралях сети;

– надежность или коэффициент готовности сети в целом;

– возможность интеграции различных видов трафика. *

Кроме перечисленных выше, к основным относятся и те, которые по сути не только определяют свойства сети, но и являются существенными требованиями при планировании, проектировании и построении конкретных сетей. Рассмотрим их несколько подробнее.

Чтобы оценить надежность таких сложных систем, какими являются современные ЦСС, применяют понятие *готовности или коэффициента готовности.*

Коэффициент готовности - доля времени, в течение которого сеть можно использовать по назначению, или другими словами это вероятность того, что сеть (объект сети) окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых она не используется по назначению. Коэффициент готовности важно повысить путем аппаратного резервирования сетевых элементов (узлов), резервированием трафика, сетевых трактов и каналов за счет соответствующей организации архитекторы и топологии всей сети. Для цифровых магистральных транспортных или больших корпоративных сетей на основе ВОЛС, как

правило, значение коэффициента готовности лежит в пределах 0,995...0,9998 [56, 73].

Управляемость сети - это возможность централизованно осуществлять конфигурацию, наблюдение, контроль и управление, как каждым сетевым элементом, так и всей сетью в целом, включая управление трафиком и планированием развития сети. Применение многоуровневой автоматизированной системы управления позволяет обеспечить управление сетевыми элементами, сетью, услугами и бизнесом.

Интеграция различных видов трафика в сети достигается применением соответствующих аппаратных средств и использованием базовых сетевых технологий на аппаратном уровне.

Резервирование в сети предполагает резервирование трафика, сетевых трактов и каналов с помощью организации соответствующих архитектуры и топологии сети, а также аппаратов резервирования сетевых элементов для обеспечения заданного уровня ее надежности. Все это достигается с помощью интегрированной системы управления сетью и соответствующей организацией топологии сети. Основные аспекты и особенности резервирования в сети в силу особой важности этого вопроса будут более подробно рассмотрены далее.

2.3 Требования к транспортным сетям

Общие требования, которые обычно предъявляют ко всем видам сетей связи, включая транспортные и цифровые корпоративные, сводятся к выполнению сетью основной функции предоставления пользователям доступа ко всем разделяемым ресурсам сети при гарантированном качестве услуг. Все остальные технические требования - производительность (скорость передачи), надежность, совместимость, управляемость, защищенность, расширяемость и масштабируемость - связаны с обеспечением гарантированного качества слуг для конечных пользователей сети и возможностью ее наращивания и расширения.

При планировании ЦСС определяют или задают основные требования, обеспечивающие не только гарантированное качество услуг, но и возможность дальнейшего наращивания и развития сети. Общие требования к современной цифровой сети:

- необходимая полоса пропускания;
- расширяемость и масштабируемость сети;
- управляемость сети;
- интеграция различных видов трафика;
- совместимость аппаратуры ЦСП и коммутации;
- резервирование трафика, сетевых трактов и каналов;
- наивысшая надежность и готовность сети.

Одним из наиболее существенных общих требований к цифровым первичным сетям является масштабируемость, которая необходима, чтобы без особых усилий можно было как менять число пользователей, подключенных к

сети, так и осуществлять наращивание всей сети. Высокая производительность, определяемая скоростью передачи сети, требуется для нормальной работы большинства современных приложений. И, наконец, сеть должна быть управляемой, чтобы ее можно было перенастраивать для удовлетворения постоянно меняющихся потребностей пользователей и обеспечения развития. Эти требования отражают новый этап в развитии сетевых технологий - этап создания современных надежных высокопроизводительных транспортных и корпоративных сетей.

2.4 Особенности современных корпоративных ЦСС

Особенности современных корпоративных сетей связаны с новыми требованиями, которые в настоящее время к ним предъявляются. Уникальность новых программных средств и сетевых технологий усложняет планирование и разработку корпоративных сетей. Централизованные ресурсы, новые классы программ, иные принципы их применения, изменение количественных и качественных характеристик информационных потоков в сети, увеличение числа одновременно работающих пользователей и повышение мощности вычислительных платформ - все эти факторы необходимо учитывать при планировании и разработке конкретной корпоративной сети. В целом выбор архитектуры и сетевых технологий, разработка топологии и технологических решений при планировании и построении корпоративной сети представляют комплекс взаимосвязанных и достаточно сложных задач.

В современных условиях для технически грамотного планирования и проектирования корпоративной сети и при ее построении и обслуживании необходимо учитывать следующие факторы [26].

Изменение организационной структуры разработчиков. При разработке и реализации проекта сети и всей системы в целом необходима тесная взаимосвязь и кооперация специалистов по программному обеспечению, сетевых интеграторов и администраторов, т.е. нужна единая команда специалистов различных профилей.

Использование новых программных средств. Знакомство с новым программным обеспечением на ранней стадии планирования и разработки сети необходимо как для понимания всех его возможностей, так и для того, чтобы своевременно внести необходимые коррективы в планируемые к применению средства.

Разработка и анализ различных решений. Необходимо оценивать различные архитектурно-топологические решения с точки зрения их влияния на работу будущей сети.

Проверка сетей. Необходимо планировать и тестировать всю сеть или ее части на ранних стадиях разработки. Это позволяет избежать появления «узких мест» и определить применимость и правильность принятых решений, примерную производительность различных архитектур в сети.

Выбор сетевых протоколов. Для правильного выбора конфигурации сети, нужно оценивать возможность различных сетевых протоколов. При этом важно определить, как сетевые операции, оптимизирующие работу одной программы или пакета программ, могут повлиять на производительность других.

Размещение сетевого оборудования. Важно выбрать места установки систем управления (основной и резервной), серверов с учетом размещения и миграции пользователей, а также требуемых ресурсов сети.

Особенностями современных КСС является широкое применение современных сетевых технологий и аппаратуры ЦСП СЦИ/SDH на базе оптических кабелей связи.

Основные принципы построения мультисервисных КСС на основе ЦТС и интегрированных ЦТС рассмотрены в [78]. Проблема создания и построения интегрированных и специализированных ЦТС на базе ЦПС является комплексной. Ее решение тесно связано с планированием и построением корпоративной сети, требует учета особенностей построения ЦПС и предусматривает необходимую степень их интеграции. Кроме этого, при создании корпоративной сети, предназначенной, например, для применения в электроэнергетике, особенно в крупных энергосистемах, предполагается ее двойное использование: для обеспечения корпорации технологическими средствами связи и для предоставления услуг связи на коммерческой основе.

С учетом сказанного принципы организации и построения КСС и специализированных ЦТС можно сформулировать так:

- применение современных ЦСП на базе оптических кабелей связи;
- комплексное применение оборудования и аппаратуры ЦСП ПЦИ/PDH;
- применение универсального оборудования и аппаратуры ЦСП для ЦТС;
- интеграция ЦКС для систем технологической защиты и телеуправления в выделенные специализированные ЦТС и отдельные комплексы с единой системой управления;
- первичное (аппаратное) резервирование ЦКС для ЦТС средствами оборудования ПЦИ/PDH;
- вторичное резервирование ЦКС (каналов и трактов передачи) ЦТС с помощью ЦПС средствами оборудования СЦИ/SDH;
- интеграция специализированных ЦКС и ЦТС на базе ЦПС в специализированные распределенные ЦВС с многоуровневой интегрированной системой управления первичной сетью.

2.5 Основные требования к корпоративным сетям

Общие сведения. Требования определяются структурой корпоративных сетей и особенностями их построения. Для первичной транспортной сети КСС все сказанное выше остается в силе. Требования к вторичным сетям и сетям доступа определяются исходя из назначения, структуры и общей топологии корпоративной сети:

– Масштабирование полосы пропускания.
– Гарантированное качество обслуживания в сети.
– Интеграция различных видов трафика.
– Управляемость сети в корпоративном масштабе.
– Независимость физической и логической структуры сети.
– Гибкость и адаптация к изменяющимся потокам данных в сети.
– Высокая надежность и готовность.

Технологии обеспечения качества обслуживания. В настоящее время существует целый ряд технологий, способных обеспечить необходимое качество обслуживания в сети. Условно эти технологии можно разделить на две основные группы: технологии, предоставляющие неконтролируемое качество обслуживания, и технологии, имеющие встроенные механизмы контроля предоставляемого качества. В таблице 2.1 представлены основные характеристики технологий качества обслуживания [26].

В связи с появившимися в последнее время новыми высокоскоростными технологиями такими, как Gigabit Ethernet, ATM и другими, можно надеяться, что все проблемы, связанные с качеством обслуживания, решатся простым увеличением пропускной способности сети, которую обеспечивают эти новые сетевые технологии. Это может быть решением, особенно, если корпоративная сеть представляет собой объединение ЛВС, которыми пользуются небольшие рабочие группы [26].

Использование высокоскоростных каналов связи, предоставляемых такими технологиями, как Fast Ethernet /Gigabit Ethernet со скоростями 100/1000 Мбит/с, да еще совместно с неблокирующими коммутаторами при достаточно низкой загрузке сети, позволяет избежать возникновения «узких» мест. При этом достигается и низкая временная задержка и небольшая амплитуда дрожания без использования технологии ATM. Однако в подавляющем большинстве случаев требуется жесткий контроль за распределением трафика.

К сожалению, методы контроля трафика в ЛВС в настоящее время практически находятся в зачаточном состоянии. При неконтролируемой загрузке сети может возникнуть ситуация, когда коммутаторы при перегрузке попросту отбрасывают пакеты, которые они не в состоянии обработать. При этом конечные станции будут повторно передавать потерянные пакеты вновь, что еще больше увеличит трафик в сети. В такой ситуации передача аудио и видеоинформации по сети практически невозможна. Подключение к магистральной транспортной сети такой ЛВС с неконтролируемым управлением трафиком может привести к тому, что для передачи приоритетного трафика станет недостаточно даже всех ресурсов, которые предоставляют высокоскоростные сетевые технологии. Так что для магистральных транспортных сетей анализ трафика по видам и распределению с учетом качества обслуживания в сети является крайне необходимым. Более подробно эти вопросы будут рассматриваться и обсуждаться в последующих главах.

Таблица 2.1 - Основные характеристики технологий качества обслуживания

Технология	Доступность	Достоинство	Ограничения, недостатки
Обеспечение перекрывающей пропускной способности	Полностью доступна	Простота в реализации	По масштабируемости
Организация приоритетных очередей в маршрутизаторах	Полностью доступна	Проверенная технология, удовлетворительно работающая с существующими сетевыми протоколами	Не обеспечивает передачу аудио- и видеоконференций в реальном масштабе времени. Требует дополнительных ресурсов маршрутизаторов
Протокол RSVP (Resource Reservation Protocol)	Доступна	Может работать в любых IP-сетях. Обеспечивает требуемое качество обслуживания QoS	Требуется проверка в больших распределенных сетях
Установление приоритетов в виртуальных сетях	Доступна	Хорошо интегрируется в сетях с коммутаторами	Поддерживается только в виртуальных сетях
Сети Frame Relay с качеством обслуживания	Доступна с ограничениями	Может использоваться для передачи голоса в реальном масштабе времени	Не гарантирует задержку
Сети АТМ с качеством обслуживания	Полностью доступна	Стандартизованная технология	Требуется транспортная магистраль АТМ

Требования к цифровым каналам связи для ЦТС. Рассмотрим подробнее общие требования к цифровым каналам связи (ЦКС) для технологических систем с точки зрения влияния на выбор ЦСП и методы организации ЦТС в корпоративных сетях связи. Во всех больших и сложных технологических системах и комплексах таких, например, как энергосистемы, требуются надежные и оперативные системы и средства управления технологическими процессами, которые можно реализовать на основе современных сетевых технологий. Устройства управления технологическими комплексами, как правило, содержат следующие системы [78]:

- телеуправления, включающие телесигнализацию, телеизмерения и передачу телекоманд;

- технологической защиты (в электроэнергетике - это системы РЗА линий электропередачи);
- диспетчерского управления на основе ЦКС для передачи данных и голоса.

Специализация ЦВС накладывает дополнительные требования как на организацию цифровых каналов, так и на методы построения. При этом системы технологической защиты и телеуправления предъявляют очень жесткие требования к готовности, надежности и времени передачи информационных сигналов каналов связи, что требует применения выделенных ЦКС, поэтому для большинства ЦТС общим требованием является необходимость организации выделенных каналов с заданной полосой пропускания или скоростью передачи. Как правило, ЦКС для ЦТС должны удовлетворять требованиям, предъявляемым к цифровым каналам первичных сетей [40, 79], а в ряде случаев и специальным требованиям [21, 78].

Особые требования к ЦКС для ЦТС обусловлены необходимостью передачи специальных сигналов управления технологическими процессами. В зависимости от вида связи и типа первичных сигналов соответствующего технологического оборудования, которые могут быть залоговыми или цифровыми, к ЦКС предъявляют различные требования. Так, для технологических систем с цифровыми первичными сигналами требуется наличие ЦКС, которые представляют собой каналы передачи данных. В этом случае необходимо согласовать пользовательские интерфейсы аппаратуры ЦСП и входные и/или выходные интерфейсы технологического оборудования (с учетом соответствующей синхронизации сигналов) по определенному протоколу передачи данных или определенному стандарту. Например, для большинства рассматриваемых систем одним из наиболее распространенных является основной цифровой канал Е0 (64 кбит/с) с интерфейсом, соответствующим Рек. G.703 ITU-T.

Для технологических систем с выходными аналоговыми первичными сигналами необходимо учитывать специфику характеристик и время задержки передаваемых сигналов, возникающих в ЦКС и ЦТС. Временные задержки в передаче информационных сигналов в трактах ЦСП являются характерной особенностью всех цифровых сетевых технологий. В системах, предъявляющих жесткие требования к времени передачи и возможности переключения информационных сигналов, в частности, для систем РЗА и некоторых систем телеуправления временные задержки сигналов должны серьезно приниматься во внимание. Именно поэтому для таких систем требуется вполне определенная организация ЦКС, которая тесно связана с топологией ЦТС и/или ЦВТС и методами резервирования каналов связи как в ЦТС, так и всей корпоративной сети.

Поясним это на примере организации ЦКС для систем релейной защиты и автоматики (РЗА) типа продольных дифференциальных защит линий (ДЗЛ) высокого напряжения в электроэнергетике [58]. Системы ДЗЛ защищают воздушные (ВЛ) или кабельные линий (КЛ) электропередачи высокого

напряжения от короткого замыкания (КЗ) и основаны на сравнении значений фаз токов на концах линии. Не вдаваясь подробно в технику систем ДЗЛ, отметим, что общим для подобных технологических дифференциальных систем является двусторонняя передача двух аналоговых сигналов в определенном частотном диапазоне с центральной частотой f_0 и последующее их сравнение в приемном устройстве. При этом для четкого срабатывания исполнительных устройств систем ДЗЛ время запаздывания сигналов (обычно с частотой f_0 = 50 Гц) друг относительно друга не должно превышать некоторого максимального значения $t_{з\max}$. Для рассматриваемых систем ДЗЛ, достаточно широко применяемых в электроэнергетике, время $t_{з\max}$ не должно превышать долей миллисекунд. Другим требованием к ЦКС для систем РЗА является необходимость резервирования каналов связи. Такое резервирование можно осуществить как на аппаратном, так и на сетевом уровнях. Указанные выше требования могут быть удовлетворены при соответствующем выборе ЦСП и оптимальной организации ЦКС и ЦТС.

2.6 Требования к сетям доступа

Сети доступа подключают пользователей ко всем разделяемым ресурсам как транспортной, так и любой другой (например, корпоративной) сети. Сети доступа можно подразделить на сети абонентского доступа, вычислительные (ЛВС) и технологические (ЦТС) сети, которые в совокупности образуют цифровые вторичные сети. Требования к последним двум видам сетей доступа рассматривались выше. Сети абонентского доступа присоединяют абонентов (пользователей) к телефонной сети с помощью абонентских линий (АЛ); по объему они занимают ведущее место во всем комплексе вторичных сетей. Основные требования к сетям абонентского доступа и их функции рассмотрим на основе [65].

Появление коммутируемых сетей передачи данных привело к использованию АЛ для связи соответствующих терминалов с коммутационными станциями других (отличных от телефонной) вторичных сетей. Эти процессы практически не изменили функции АЛ. Остались неизменными полоса пропускания АЛ, определяемая нормами для каналов ТЧ, и показатели качества ее функционирования. Функции АЛ в существующей телекоммуникационной системе заключаются в решении трех основных задач [65]:

– обеспечение двухстороннего переноса сообщений на участке между терминалом пользователя и абонентским комплектом оконечной станции;

– обмен сигнальной информацией, необходимой для установления и разъединения соединений;

– поддержка заданных показателей качества передачи информации и надежности связи терминала с оконечной станцией.

Функции переноса сообщений, в свою очередь, можно классифицировать по виду передаваемой информации. Если речь идет о телефонии, то основным

видом информации будет речевая. Дополнительным видом информации может быть, например, охранная сигнализация. Функции переноса сообщений можно реализовать как двухпроводными физическими АЛ (индивидуальными и спаренными), так и АЛ, организованными в каналах систем передачи (аналоговых или цифровых, работающих по кабельным жилам или радиоканалам).

Обмен сигнальной информацией подразумевает передачу всех сигналов, которые могут потребоваться в процессе обслуживания вызова. Характерными сигналами для телефонии можно считать: акустический сигнал «Ответ станции», сигнал номера вызываемого абонента и сигнал, заставляющий работать звонок телефонного аппарата.

Заданные показатели надежности и качества функционирования обеспечиваются как на этапе проектирования сети АЛ, так и в процессе эксплуатации. На этапе проектирования должны быть обеспечены нормированные для АЛ характеристики передачи [65].

Совокупность АЛ для существующей системы электросвязи представляет собой распределительную сеть абонентского доступа. По этой причине функции АЛ и сети абонентского доступа совпадают. На современном этапе развития телекоммуникационной системы происходит качественное изменение функций, выполняемых сетью абонентского доступа. Сначала остановимся на изменениях, касающихся АЛ.

Особенности АЛ в современных телекоммуникационных системах состоят в том, что функции, свойственные АЛ, расширяются за счет применения новых технологий, при этом необходимо учесть следующее:

– как правило, сокращается средняя длина АЛ, что улучшает основные характеристики передачи в сети абонентского доступа;

– при реализации на кабелях с медными жилами АЛ выполняется однородной, что снимает проблемы, касающиеся отражения сигналов и других явлений, затрудняющих передачу дискретной информации;

– для организации АЛ используют радиоканалы и ОК, который позволяет (при необходимости) обеспечить широкую полосу пропускания сигналов;

– повышаются требования к надежности АЛ и, как правило, ужесточаются нормативные сроки ее восстановления после отказа;

– помимо конфигурации «точка-точка», могут использоваться иные топологии АЛ.

Функции сети абонентского доступа связаны с изменением требований, предъявляемых к сети доступа. Причины, которыми обусловлены существенные изменения функций, выполняемых сетью доступа, заключаются в главных тенденциях развития всей системы электросвязи, а именно:

– интеграции, затрагивающей сети связи, телекоммуникационные услуги, эксплуатационные процессы и т.п.;

– интеллектуализации, подразумевающей применение новых технологий электросвязи и информатики;

– персонализации, ориентированной на максимальное приближение средств электросвязи к конкретному человеку;

– поддержке услуг по обмену видеоинформацией, стимулирующей существенное повышение пропускной способности сети абонентского доступа.

Эти главные тенденции развития электросвязи играют самую важную роль в трансформации функций и требований, предъявляемых к сети абонентского доступа.

2.7 Классификация узлов цифровых первичных и больших корпоративных сетей

Цифровая первичная сеть. В процессе планирования ЦПС и КСС для структуризации сети, выбора базовых топологий и аппаратуры ЦСП для сегментов сети и сети в целом целесообразно предварительно классифицировать узлы цифровой сети [77, 79].

Классификация узлов ЦПС опирается на структуру цифровой транспортной сети и может быть проведена по определенным признакам, характерным для большинства узлов сети. Наиболее существенными из них являются - вид применяемого оборудования ЦСП (ATM, SDH, PDH и т.п.), объем трафика (загрузки) узла, наличие дополнительного сетевого оборудования системы управления, оборудования коммутации, синхронизации, доступа и др.), тип сопряжения узла с другими сегментами сети или вторичными сетями и/или сетями доступа. Предлагаемая классификация узлов цифровой сети, хотя и носит несколько условный характер, оказывается весьма полезной при практическом планировании как транспортных сетей, так и еще большей степени при планировании корпоративных или ведомственных сетей.

Опираясь на опыт планирования цифровой первичной сети связи [56, 57] в планируемой сети обычно предусматривают один или два узла высшей категории и сетевые узлы первой - четвертой категорий.

Узел высшей категории - центральный узел ЦПС обеспечивает передачу транспортных модулей СЦИ/SDH высшего уровня STM-N (N=1,4,…,16,...), управление сетью или ее сегментами (подсетями) и коммутацию скоростных цифровых потоков разного уровня с помощью оборудования различных сетевых технологий. Такой узел может включать оборудование ЦСП как ATM, так и СЦИ/SDH и ПЦИ/PDH с единой системой (или несколькими) управления сетью или сегментами (подсетями) цифровой сети. Таких узлов в сети может быть несколько, например, центральный и резервный узлы с центрами управления первичной сетью (ЦУПС) - основным и резервным.

Сетевой узел ЦПС первой категории передает транспортные модули СЦИ/SDH высшего уровня STM-N (N = 1, 4, …, 16,...) и коммутирует скоростные цифровые потоки в пределах сегмента или между отдельными сегментами транспортной сети. Такой узел может включать оборудование ЦСП как ATM, так и СЦИ/SDH и ПЦИ/PDH.

Сетевой узел ЦПС второй категории передает транспортные модули СЦИ/SDH высшего уровня STM-N, маршрутизирует транспортные модули STM-N более низкого уровня и скоростные цифровые потоки как в пределах ЦПС, так и между ЦПС и ЦВС и сетями доступа. Такой узел может включать ЦСП как СЦИ/SDH, так и ПЦИ/PDH и другое оборудование ЦВС для доступа к ЦПС.

Сетевой узел ЦПС третьей категории передает транспортные модули STM-N более низкого уровня, чем узел первой категории и коммутирует цифровые потоки уровня E1 (2,048 Мбит/с) между ЦПС, ЦВС и сетями доступа или между различными цифровыми вторичными сетями. Такой узел может включать ЦСП как СЦИ/SDH, так и ПЦИ/PDH и другое оборудование доступа к ЦПС и ЦВС.

Сетевой узел ЦПС четвертой категории обеспечивает передачу цифровых потоков уровня E1 и основного цифрового канала E0 (64 кбит/с) между ЦПС, ЦВС и сетями доступа или между цифровыми вторичными сетями. Такой узел может включать ЦСП ПЦИ/PDH и другое оборудование доступа к ЦПС и ЦВС.

Цифровая корпоративная сеть. Классификация узлов цифровой корпоративной сети практически мало отличается от рассмотренной выше примерной классификации узлов ЦПС. На этапе планирования и разработки топологию КСС имеет смысл дополнить и расширить с учетом более конкретной проработки, детализации и систематизации узлов КСС, ЦВС, ЦТС и сетей доступа.

Так, при построении корпоративной сети, в которой планируется создание мультисервисных вторичных сетей, необходимы, проработка и систематизация в большей степени узлов сетей доступа, так как вторичные сети, по сути, превращаются в однородную сеть, наложенную или интегрированную с первичной сетью на основе однородной аппаратной платформы.

При построении корпоративной сети, в которой планируется большой объем специализированных ЦВС и/или ЦТС, требуется предварительно выделить (определить) сегменты или комплексы сетей однородных вторичных и специализированных. В соответствии с таким делением и классифицируются узлы корпоративной сети.

При планировании реальной цифровой корпоративной и/или транспортной сети классификация узлов сети с учетом конкретных условий в планируемой сети или особых требований заказчика (пользователя) может отличаться от примерной классификации, рассмотренной выше. Однако, несмотря на некоторую условность, классификация узлов ЦПС, и больших КСС в особенности, позволяет определить соподчиненность узлов планируемой сети, провести ее структуризацию, разработать и использовать типовые базовые топологические решения при планировании реальной сети и дальнейшем ее развитии.

3 Базовые сетевые технологии для современных цифровых транспортных и корпоративных сетей связи

3.1 Технологии передачи для транспортных сетей

Для построения современных транспортных и корпоративных сетей наибольшее применение находят сетевые технологии ПЦИ/PDH, СЦИ/SDH и ATM. В последние годы получили развитие такие технологии, как DWDM, *IP поверх ATM* и *IP поверх СЦИ/SDH*. В настоящее зремя наибольший прогресс достигнут в создании глобальных магистральных сетей на основе вышеназванных технологий. Совсем недавно появились новые технологии передачи IP-трафика с унифицированными соединениями IP-маршрутизаторов, использующими в качестве канальной среды такие технологии, как WDM, DWDM, СЦИ/SDH и ОВ в виде «темных волокон».

Технологии ПЦИ/PDH, СЦИ/SDH и ATM широко применяются для построения транспортных сетей разного масштаба. Из перечисленных только первые две в настоящее время можно рассматривать в качестве основы для построения цифровых первичных или транспортных сетей. В качестве технологии построения транспортных сетей технология ATM все еще находится в стадии становления и не до конца стандартизованна. В отличие от ПЦИ/PDH и СЦИ/SDH эта технология охватывает не только уровень первичной или транспортной сети, но и объединяет уровни вторичных сетей и сетей доступа с первичной сетью.

В транспортных сетях используется иерархия скоростей передачи в соответствии с международными рекомендациями ITU-T и получившим наибольшее распространение, европейским стандартом, который применяют на сетях связи [61]. Технология ЛЦИ/PDH поддерживает следующие уровни иерархии цифровых каналов: абонентский или основной канал ЕО (64 кбит/с) и пользовательские каналы уровней Е1 (2,048 Мбит/с**)**, Е2 (8,448 Мбит/с), Е3 (34,368 Мбит/с), Е4 (139,264 Мбит/с). Уровень цифрового канала Е5 (564,992 Мбит/с) определен в рекомендациях ITU-T, но на практике его обычно не используют. Цифровые каналы ПЦИ/PDH являются входными (полезной нагрузкой) для пользовательских интерфейсов сетей СЦИ/SDH. Применительно к европейскому стандарту интерфейсы передачи уровней Е1, Е3, Е4 ПЦИ/PDH (в соответствии с Рек. G.703 ITU-T) являются входными каналами для транспортной сети СЦИ/SDH, в которой они передаются по сетевым трактам в магистралях сети в виде виртуальных контейнеров соответствующего уровня.

Современная цифровая первичная или транспортная сеть, как правило, строится на основе совокупности аппаратуры ПЦИ/PDH и СЦИ/SDH. Цифровые каналы транспортной сети с пропускной способностью (скоростью передачи) от 64 кбит/с до 140 Мбит/с создаются на основе технологии ПЦИ/PDH, а каналы со скоростью передачи 2 Мбит/с и более создаются на основе технологии СЦИ/SDH (таблицы 3.1 и 3.2). Технологии ПЦИ/PDH и

СЦИ/SDH взаимодействуют друг с другом через процедуры мультиплексирования и демультиплексирования цифровых потоков Е1, Е3 и Е4 ПЦИ/PDH в аппаратуре СЦИ/SDH. В таблице 3.1. приведены общие характеристики ОЦК ЕО и сетевых трактов El, Е2, Е3 и Е4 ПЦИ/PDH [40].

Таблица 3.1 - Общие характеристики ОЦК и сетевых трактов ПЦИ/PDH

Уровень ПЦИ/PDH	Номинальная скорость передачи, кбит/с	Пределы отклонения скорости передачи, кбит/с, х Ю$^{-5}$
ЕО	64	±5
Е1	2048	±5
Е2	8448	±3
Е3	34368	±2
Е4	139264	±1,5

Таблица 3.2 - Уровни иерархии и скорости передачи СЦИ/SDH

Уровень СЦИ/SDH	Номинальная скорость передачи, Мбит/с	Примечание
STM-0 (STS-1)	51,84	Уровень STS-1 (SONET)
STM-1	155,52	ITU-T Рек. G.707
STM-4	622,08	ITU-T Рек. G.707
STM-16	2488,32	ITU-T Рек. G.707
STM-64	9953,28	ITU-T Рек. G.707
STM-256	39813,12	Применяется «де-факто»

В технологии ПЦИ/PDH используют принцип *плезиохронного* (или почти синхронного) мультиплексирования, в соответствии с которым, например, четыре потока Е1 (2048 кбит/с) мультиплексируются в один Е2 (8448 кбит/с) с выравниванием тактовых частот входных сигналов *{процедура стаффинга)* [3, 61]. С учетом того, что общая синхронизация входных потоков (полезной нагрузки), подаваемых на мультиплексор от разных пользователей, отсутствует, в технологии ПЦИ/PDH для второго и более высоких уровней применяют метод *мультиплексирования с чередованием битов* (а не байтов) [36, 61]. Поэтому для цифровых потоков высшего уровня иерархии требуется пошаговое мультиплексирование и демультиплексирование в соответствии с принятыми в технологии ПЦИ/PDH уровнями иерархии.

Основным отличием технологии СЦИ/SDH от ПЦИ/PDH является переход на новый принцип мультиплексирования. Технология СЦИ/SDH является базовой сетевой технологией и представляет собой современную концепцию построения цифровой первичной или транспортной сети. В настоящее время эта технология достигла своего совершенства как одна из наиболее разработанных и стандартизованных. Она и доминирует на рынке.

Технология СЦИ/SDH в окончательной версии поддерживает уровни иерархии каналов со скоростями передачи 155,52; 622,08; 2488,32; 9953,28; и 39813,12 Мбит/с, (интерфейсы передачи, соответствующие синхронным транспортным модулям STM-N (N = 1, 4, 16, 64, 256)) [61]. В транспортной сети пользовательские интерфейсы, соответствующие синхронным транспортным модулям STM-N более низкого уровня иерархии, могут служить полезной нагрузкой для сетевых элементов более высокого уровня. Технология СЦИ/SDH основана на полной синхронизации цифровых каналов и сетевых элементов в пределах всей сети, что обеспечивается с помощью соответствующих систем синхронизации и управления транспортной сетью [3, 61]. В таблице 3.2 приведены значения скоростей передачи синхронных транспортных модулей STM-N (N=1,4,…,16,...) в технологии СЦИ/SDH.

Технология СЦИ/SDH по сравнению с ПЦИ/PDH имеет следующие особенности и преимущества:

– предусматривает синхронную передачу и мультиплексирование, что приводит к необходимости построения систем синхронизации сети;

– предусматривает прямое мультиплексирование и прямое демультиплексирование (ввод-вывод) цифровых потоков ПЦИ/PDH;

– основана на стандартных оптических и электрических интерфейсах, что обеспечивает совместимость аппаратуры различных производителей;

– позволяет объединить системы ПЦИ/PDH европейской и американской иерархии;

– обеспечивает полную совместимость с аппаратурой ПЦИ/PDH, ATM и IP;

– обеспечивает многоуровневое управление и самодиагностику транспортной сети.

Эти преимущества обусловили широкое применение СЦИ/SDH как современной базовой технологии построения цифровых первичных или транспортных сетей.

Технология ATM, основанная на статистическом мультиплексировании различных входных сигналов, разрабатывалась сначала как часть широкополосной технологии B-ISDN. Она предназначена для высокоскоростной передачи разнородного трафика: голоса, тайных, видео и мультимедиа и ориентирована на использование физического уровня высокоскоростных сетевых технологий таких, как СЦИ/SDH, FDDI и др. В технологии ATM базовые значения скоростей передачи для интерфейсов доступа (пользовательских интерфейсов) соответствуют цифровым каналам E0 (64 кбит/с), nxEO, E1 (2 Мбит/с), E3 (34 Мбит/с), E4 (140 Мбит/с) ПЦИ/PDH, ATM (25 Мбит/с), Fast Ethernet, FDDI (100Мбит/с) и некоторым другим, а базовые скорости линейных интерфейсов передачи соответствуют скоростям передачи цифровых каналов STM-N (N=1,4, 16,…,64 (таблица 3.2)) ЦИ/SDH. Несмотря на достаточно высокий уровень развития, стандартизация технологии ATM, начатая еще в рамках технологии B-ISDN, еще полностью не завершена [26, 84].

Технология АТМ опирается на механизмы статистического мультиплексирования и подчиняется его законам. Разработчики технологии АТМ стремились к компромиссу между механизмами мультиплексирования SyTDM и StTDM, стараясь взять все самое лучшее от обоих, в надежде обеспечить однородную структуру сетей связи. Закономерно, что эта технология обладает и некоторыми недостатками обоих механизмов мультиплексирования, но она была первой технологией, на основе которой вместо стандартных и многочисленных сетей телефонной, телеграфной, факсимильной связи и сетей передачи данных (каждая из которых в свою очередь рассчитана на обеспечение только одного вида связи со своим способом переноса информации) предполагалось построить единую цифровую сеть на базе широкого использования ВОЛС. Однако из-за высокой стоимости аппаратуры АТМ и широкого проникновения протокола IP в сети в глобальных масштабах, высокоскоростные интерфейсы для транспортировки которого появились в последние годы, не позволили осуществлению этих планов в полной мере.

Технологию АТМ не удалось на аппаратном уровне довести до конкретного пользователя, поэтому потребовалась прослойка из протокола IP, приводящая к дополнительным непроизводительным затратам на передачу сетевого трафика. Все эти факторы сдерживают развитие технологии АТМ и, вполне возможно, приведут к ограниченному ее применению на телекоммуникационном рынке.

Технология IP является основной сети Интернет и представляет собой набор протоколов, называемый стеком протоколов TCP/IP, а протокол управления передачей IP - протоколом сети Интернет. Именно он реализует межсетевой обмен. Главным достоинством является то, что стек протоколов TCP/IP обеспечивает надежную связь между сетевым оборудованием различных производителей. Протоколы стека TCP/IP описывают формат сообщений и указывают, каким образом следует обрабатывать ошибки, предоставляют механизм передачи сообщений в сети независимо от типа применяемого оборудования.

Стек протоколов TCP/IP предоставляет пользователям две основные службы, которые используют прикладные программы: дейтаграммное средство доставки пакетов в сети и надежную транспортную среду с логическими соединениями между сетевыми элементами.

Основные преимущества стека протоколов TCP/IP и технологии IP в целом как сетевой технологии [26, 33]:

- независимость от вида и технологии сетевого оборудования;
- обеспечение всеобщей связанности элементов сети;
- обеспечение подтверждений правильности передачи сообщений;
- стандартные сетевые протоколы.

Стеку TCP/IP предстоит еще долгое время быть базовым в корпоративных и глобальных сетях. Это обусловлено практически полным

отсутствием новых приложений, способных работать самостоятельно поверх сетей ATM.

Развитие инфотелекоммуникационных технологий постоянно стимулируется поиском возможностей и технологий, способных наиболее эффективно объединять сети, превращая их в мультисервисные широкополосные и сверхширокополосные. В настоящее время наибольший прогресс достигнут в создании глобальных магистральных сетей на основе технологий IP поверх ATM и IP поверх СЦИ/SDH. В последние годы появились новые технологии передачи IP-трафика, предусматривающие унифицированные соединения маршрутизаторов через системы и среды такие, как WDM, DWDM, СЦИ/SDH, «темное волокно». Примером такой технологии может быть предложенный в 1999 г. компанией Cisco Systems протокол SRP (Spatial Reuse Protocol), который впоследствии стал называться DPT *(Dynamic Packet Transport).* В технологии DPT воплотились лучшие качества таких технологий, как СЦИ/SDH, FDDI и др. Технология DPT (которую иногда называют «1P по волокну») позволяет избежать промежуточных протоколов других сетевых технологий, например, СЦИ/SDH и ATM, при передаче трафика IP по волокну.

К основным преимуществам технологии DTP можно отнести следующие. Применение формата СЦИ/SDH (уровня STM-1) позволяет передавать трафик DTP по сетям СЦИ/SDH, благодаря чему обеспечивается их совместимость. При этом магистральные тракты занимают полосу пропускания лишь между точками передачи и приема сигналов, что позволяет более эффективно использовать пропускную способность кольцевой топологии сети DPT. Технологии DPT присущи развитые возможности резервирования трафика за счет реализации механизмов восстановления в кольцевой топологии сети. Применение протокола IP позволяет реализовать сквозной мониторинг всей сети DPT, начиная от магистральной транспортной и заканчивая сетями доступа.

В качестве альтернативы ATM и Frame Relay предлагается технология POS (Pasket over SDH), позволяющая осуществлять инкапсуляцию пакетов IP непосредственно в кадры СЦИ/SDH. Технология POS, как и DPT, уже вышла на мировой телекоммуникационный рынок. Одним из ее достоинств является снижение доли служебной информации в общем объеме кадра передаваемой информации. По сравнению с технологией ATM, для которой до 10% объема ячейки ATM занимает заголовок, служебные данные в кадре POS занимают всего 3%. Другим конкурентом ATM может стать технология DPT.

Многие авторитетные эксперты предрекают безусловное доминирование технологии TCP/IP в будущей инфраструктуре связи.

3.2 Технологии передачи в сетях доступа

В сетях доступа наибольшее применение находят цифровые технологии ПЦИ/PDH, СЦИ/SDH и ATM как универсальные сетевые технологии, а также

высокоскоростные технологии абонентских линий типа xDSL (Digital Subscriber Line) [15, 65]. Первые три из перечисленных сетевых технологий рассматриваются отдельно. Применение технологий xDSL в сетях доступа основано на использовании в качестве последней мили существующих медных кабелей.

Технологии xDSL, разработанные для организации высокоскоростной цифровой связи до существующим медным кабельным линиям, показали, что уложенные в землю медные кабели - ценнейший капитал для построения сетей доступа. На рисунке 3.1. показано изменение скорости передачи по КЛС во времени, начиная от азбуки Морзе (10 бит/с) и до современных технологий xDSL - VDSL (51 Мбит/с) [15].

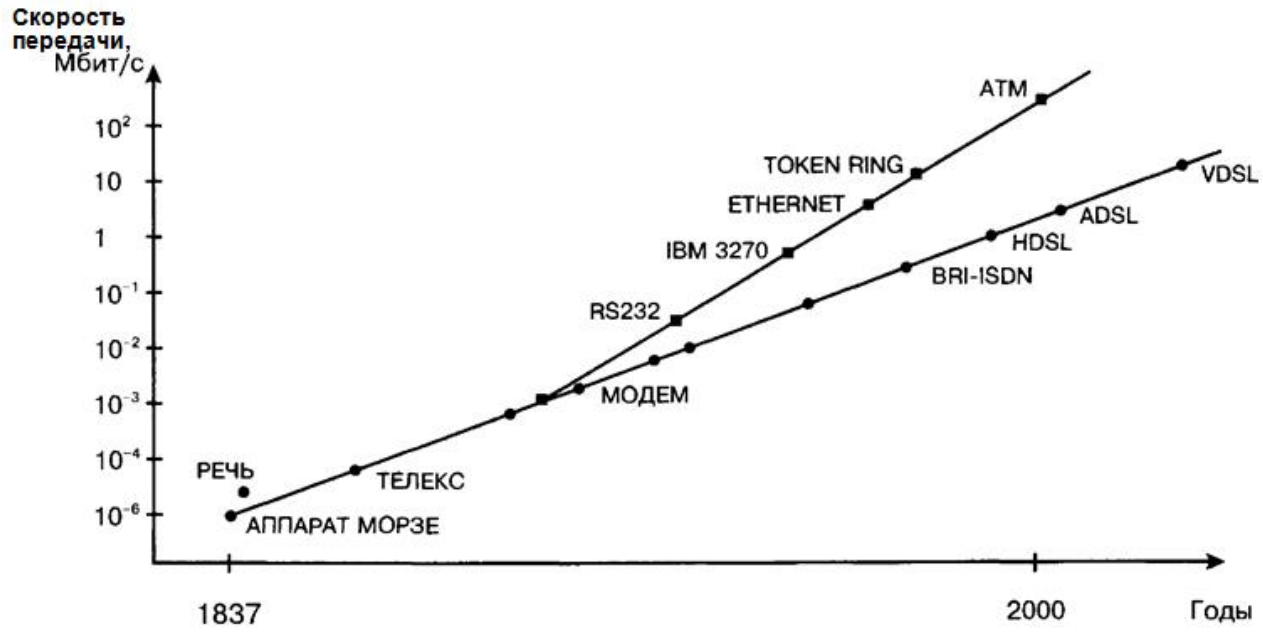


Рисунок 3.1 - Изменение скорости передачи в медных кабелях связи

Технологии xDSL стали развиваться в 70-х годах в связи с созданием устройств доступа BR (Basic Rate) ISDN (160 кбит/с). Они позволили достичь на медном кабеле скоростей передачи, ранее доступных лишь ЦСП ВОЛС. С их разработкой значительно изменилась идеология развития сетей связи, включая сети доступа. В настоящее время не вызывает сомнений, что существующая сеть медных кабелей связи еще долго останется той основой, на которой строится вся телекоммуникационная инфраструктура.

Последние три буквы обозначения DSL - сокращение от «Digital Subscriber Line», т.е. это цифровая технология цифровых абонентских линий (АЛ). Латинская буква «х» используется подобно «переменной» в алгебре. Чаще всего используются пять ее значений (A, RA. H, S и V), определяющих следующие технологии передачи информации по существующим АЛ [15,65]:

1) ADSL (Asymmetrical Digital Subscriber Line) - асимметричная цифровая абонентская линия;

2) RADSL (Rate Adaptive Digital Subscriber Line) - цифровая абонентская линия с адаптивной скоростью;

3) HDSL (High Bit Rate Digital Subscriber Line) - цифровая абонентская линия с высокой скоростью передачи битов;

4) SDSL (Symmetrical Digital Subscriber Line) - симметричная цифровая абонентская линия;

5) VDSL (Very High Bit Rate Digital Subscriber Line) - цифровая абонентская линия с очень высокой скоростью передачи битов.

Считается, что основными технологиями будут ADSL и VDSL. Но VDSL ориентирована на короткие АЛ, что определяет достаточно узкую сферу применения присущего ей оборудования.

Рассмотрим общую концепцию применения технологий xDSL с точки зрения выбора частотного диапазона. С учетом характеристик эксплуатируемых АЛ можно использовать весьма ограниченные ресурсы частотного диапазона, что требует достаточно сложных методов модуляции сигнала [65]. Основными факторами, существенно ограничивающими полосу пропускания АЛ, являются: длина АЛ (затухание и сопротивление) и число жил в кабеле (взаимные влияния). Области применения технологий xDSL с точки зрения длины АЛ представлены в таблице 3.3 [65].

Таблица 3.3 - Основные возможности технологий xDSL

Скорость передачи,	Максимальная длина АЛ, км	Технология передачи xDSL
0,75	3,6	SDSL
1,5	4,1—5,4	ADSL)
2	4,8	ADSL/HDSL
6	3,6	ADSL
9	2,7	ADSL
13	1,4	VDSL
26	0,9	VDSL
52	0,3	VDSL

Вероятно, все разновидности технологий xDSL будут в той или иной степени использоваться в сетях абонентского доступа. Тем не менее следует упомянуть о заметном преобладании публикаций, касающихся технологии ADSL, которая ориентирована на услуги «Видео по заказу». Это связано с тем, что технология ADSL позволяет, в определенном смысле, интегрировать средства абонентского доступа [65].

Технология HDSL обеспечивает полный дуплексный обмен на скорости передачи 2048 кбит/с, при этом могут использоваться две или три кабельные пары. Дальнейшим развитием технологии HDSL стало появление устройств симметричной высокоскоростной цифровой АЛ, работающих по одной паре -

технологии SDSL. В последние годы разработаны также более высокоскоростные технологии xDSL, например, ADSL и VDSL. Технология асимметричной цифровой абонентской линии ADSL обеспечивает скорость передачи до 8 Мбит/с в направлении «от сети к абоненту» и до 1 Мбит/с в направлении «от абонента к сети» и обещает быть весьма перспективной для доступа к сети Интернет. Вместе с тем, ADSL вряд ли найдет широкое применение в телефонии, где, как правило, необходима симметричная дуплексная передача. Что касается технологии VDSL, то она еще находится в стадии разработки, хотя ряд производителей и предлагает оборудование с ее использованием.

Все технологии xDSL рассматривались изначально как *технологии абонентского достута* (отсюда и название), предназначенные для использования на АЛ, т.е. медных КЛС, проложенных от телефонной станции до абонента. Сфера реального применения технологий xDSL существенно шире.

3.3 Технология плезиохронной цифровой иерархии

Плезиохронная цифровая иерархия ПЦИ/PDH определена в Рек. G.702 ITU-T и включает :в себя несколько уровней с разными скоростями передачи (таблица 3.1) [26, 61]. Иерарха ПЦИ/PDH строится на основе основного цифрового канала (ОЦК 64 кбит/с), который обозначается ЕО. Поток Е1 получается мультиплексированием 32 ОЦК в один канал первично группы со скоростью передачи 2048 кбит/с. Каналы высших уровней иерархии ПЦИ/PDH формируются по единой схеме: 4 потока Е1 мультиплексируются в поток Е2 со скоростью передачи 8448 кбит/с, 4 потока Е2 в Е3 с 34368 кбит/с, 4 потока Е3 в Е4 с 139264 кбит/с. В процессе мультиплексирования осуществляется выравнивание скоростей потоков методом подстановки служебных битов (процедура *стаффинга).* В результате для выделения канала, первичной группы Е1 из потоков высших уровней иерархии требуется *пошаговое мультиплексирование и демультиплексирование* (рисунок 3.2).

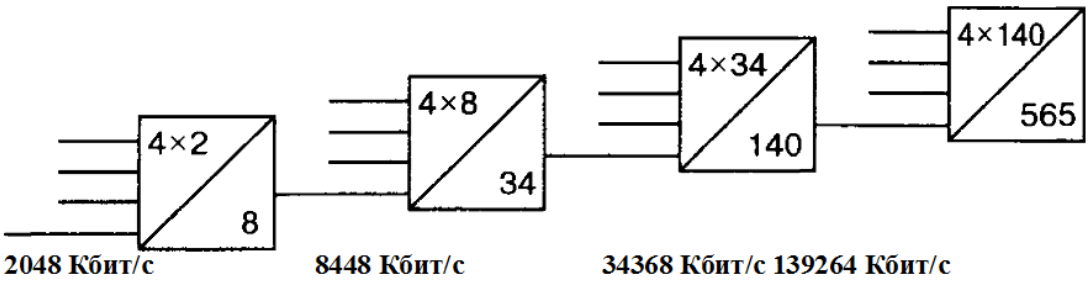


Рисунок 3.2 - Пошаговое мультиплексирование в ПЦИ/PDH

Структура систем передачи ПЦИ/PDH, как было показано выше, включает три уровня эталонной модели BOC/OSI: физический, канальный и сетевой. Физический уровень описывает электрический интерфейс, а также параметры сигналов ПЦИ/PDH. Канальный уровень описывает процедуры

мультиплексирования и демультиплексирования каналов разных уровней иерархии, цикловую структуру потоков, встроенные процедуры контроля ошибок и т.д. Сетевой уровень описывает процедуры управления каналами, а также контроль параметров ошибок на сетевом уровне.

Рассмотрим подробнее структуру каждого из трех уровней модели BOC/OSI систем передачи ПЦИ/PDH. Физический уровень включает в себя описание электрических параметров интерфейсов ПЦИ/PDH и параметров сигналов передачи, которые даны в Рек. G.703 G.823 ITU-T и подробно рассмотрены в [3, 61]. С точки зрения планирования сети физический уровень является наиболее важным, так как он определяет интерфейсы взаимодействия ЦСП ПЦИ/PDH между собой и с ЦСП СЦИ/SDH.

В ЦСП ПЦИ/PDH используются типы кодирования HDB5 и AMI, причем первый из них используется чаще; для передачи потока E4 (140 Мбит/с применяется линейное кодирование CMI).

Помимо параметров частоты сигнала и типа линейного кодирования, Рек. G.703 определяет ряд норм на электрические параметры интерфейсов, которые существенны для эксплуатации систем ПЦИ/PDH. Для ЦСП ПЦИ/PDH существуют два типа физических интерфейсов - симметричный 120 Ом для применения на низких скоростях передачи, и коаксиальный (несимметричный) интерфейс 75 Ом, используемый для скоростей передачи 2048 кбит/с и выше.

Параметры канального уровня ЦСП ПЦИ/PDH включают в себя цикловую структуру потока и процедуры мультиплексирования и демультиплексирования между различными ровнями иерархии. Основным отличием потока E1 от других уровней иерархии ПЦИ/PDH является наличие в нем не только цикловой, но и сверхцикловой структуры [3].

Все сообщения сетевого уровня ПЦИ/PDH делятся на три категории: сообщения о возникновении ошибок в системе передачи; сообщения о неисправностях, возникающих в системе передачи; сообщения, используемые для реконфигурации первичной сети и восстановлении плана синхронизации.

3.4 Технология синхронной цифровой иерархии

3.4.1 Структура кадра СЦИ/SDH.

Несмотря на широкое применение технологии СЦИ/SDH в современных сетях связи, систематически она изложена лишь в [61]. Однако терминология СЦИ/SDH еще не устоялась. Учитывая это и то, что технология СЦИ/SDH играет основополагающую роль при построении транспортных сетей, остановимся несколько подробнее на описании основных понятий и механизмов преобразования сигналов в аппаратуре СЦИ/SDH на основе [3, 26, 61, 112] и соответствующих рекомендаций ITU-T.

Для стандартного телефонного канала период дискретизации равен 125 мкс. Под *кадром* понимают совокупность символов (бит информационного сигнала), переданных за время, равное периоду дискретизации. Так как для основного синхронного сигнала - синхронного транспортного модуля уровня

STM-1 скорость передачи - 155,52 Мбит/с, то каждый кадр должен содержать 19440 бит.

Особенностью технологии СЦИ/SDH является то, что основной единицей кадра служит не бит, а *байт,* поэтому в каждом кадре содержится 19440:8 = 2430 байт. *Другая особенность* технологии СЦИ/SDH заключается в организации структуры кадра, который представляется как блок, состоящий из 9 строк и 270 столбцов (рисунок 3.3), каждый столбец при этом имеет ширину в 1 байт.

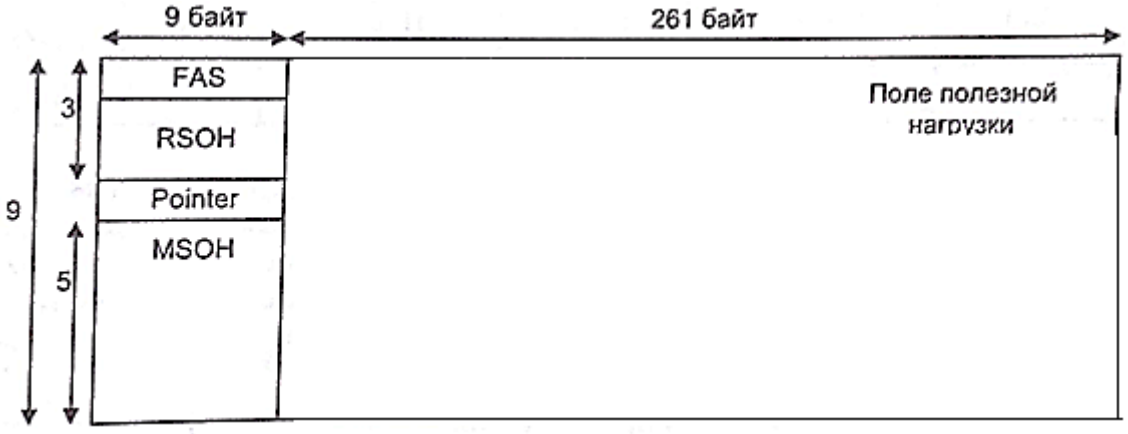


Рисунок 3.3 - Структура кадра транспортного модуля уровня STM-1

Кадр синхронного транспортного модуля уровня STM-1 как блок данных можно представить в виде некоторого *контейнера* стандартного размера, имеющего сопровождающую документацию - *заголовок*, где собраны все необходимые для управления маршрутизации контейнера поля-параметры, и внутреннюю емкость для размещения информационных символов, которые называют *полезной нагрузкой***.**

В кадре первые 9 байт содержат сигнал синхронизации (выравнивания) кадра (или фрейма) FAS (Frame Alignment Signal). Последующие 261 байт используются для передачи полезной нагрузки. Следующие 9 байтов представляются в виде первых 9 столбцов второй строки и используются в качестве секции заголовка - заголовок регенераторного участка RSOH (Regenerator Section Overhead), а последующие 261 байт (261 столбцов) используются для полезной нагрузки и т.д. Таким образом, формируется представление кадра синхронного транспортного модуля уровня STM-1 в виде матрицы размерностью 9x270 = 2430 байт, у которой первые 9 столбцов отведены под управляющую информацию - это заголовок участка SOH (Section Overhead) (состоит из сигнала выравнивания фрейма FAS (1x9 байт), заголовок регенераторного участка RSON (2x9 байт), заголовок мультиплексорного участка MSOH (Multiplexer Section Overhead) (5x9 байт) и указатель Pointer (1x9 байт), а последующие 261 столбец используются под полезную нагрузку.

Указатель (Pointer) расположен в начале четвертой строки между заголовками регенераторного RSOH и мультиплексорного MSOH участков и

используется для указания начала полезной нагрузки. Как видно из рисунка 3.4, действительное положение полезной нагрузки начинается не с первой строки (после сигнала синхронизации кадра FAS), а после указателя и с того места (адреса), которое задается указателем.

В действительности полезная нагрузка располагается не в одном кадре, а частично в следующем. Нумерация емкости нагрузки в связи с этим начинается после указателя, т.е. с 10-го байта четвертой строки, а не с первой строки после FAS. Как следствие, конец нумерации нагрузки заканчивается в конце третьей строки следующего кадра. Полезная нагрузка может смещаться в структуре кадра под действием непредвиденных временных флуктуаций, а указатель всегда содержит адрес начала полезной нагрузки. Тем самым устраняется противоречие между фактом синхронности обработки и возможным изменением положения полезной нагрузки внутри кадра.

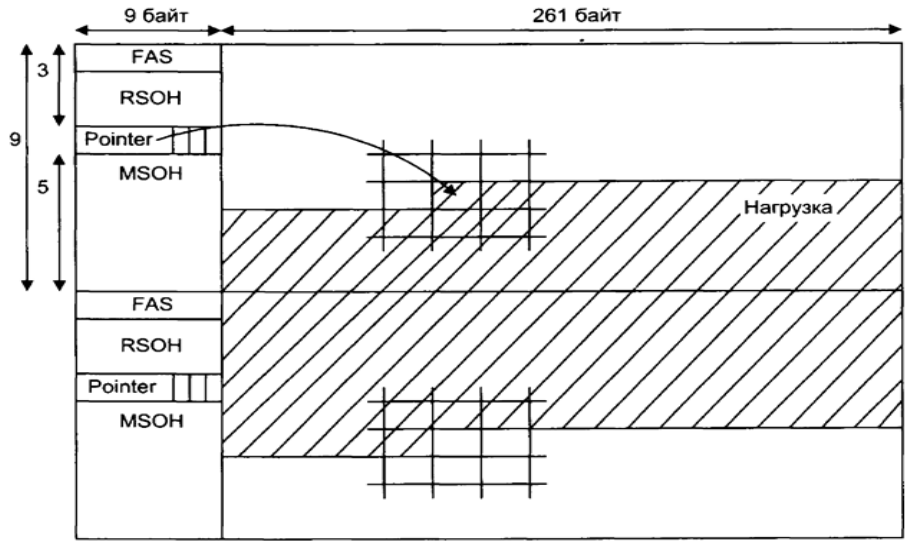


Рисунок 3.4 - Принцип действия указателя в кадре STM-1

Преимущества такого размещения нагрузки иллюстрируются следующим примером. Положим, что в некотором узле транспортной сети, куда поступил сигнал STM-1, полезную нагрузку необходимо перенести в другой сигнал STM-1. Если оба сигнала синхронизированы, то такой перенос реализуется после считывания информации в указателе. При расположении же полезной нагрузки с первой строки кадра, потребовалась бы буферная память для запоминания информации, содержащейся до указателя, что заметно усложняет процесс переноса.

Принятый и переданный сигналы, однако, не полностью синхронизированы. Для устранения последствий такой ресинхронизации используют *положительное и отрицательное выравнивания,* позволяющие полезной нагрузке динамически перемещаться внутри кадра. Для этого в четвертой строке 10-12 байты можно использовать как неинформационные при положительном выравнивании (рисунок 3.5). При отрицательном

выравнивании 7-9 байты четвертой строки используются как информационные (рисунок 3.6), т.е. срезаются» в часть заголовка.

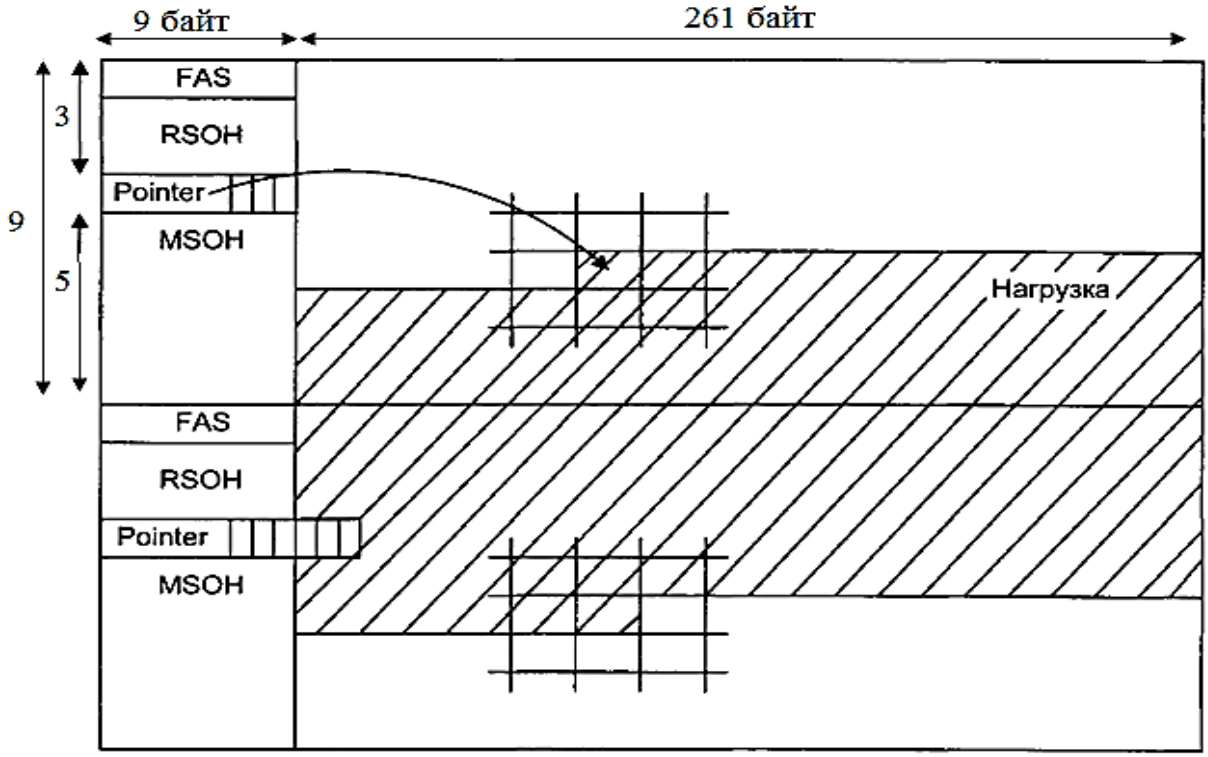


Рисунок 3.5 - Положительное выравнивание

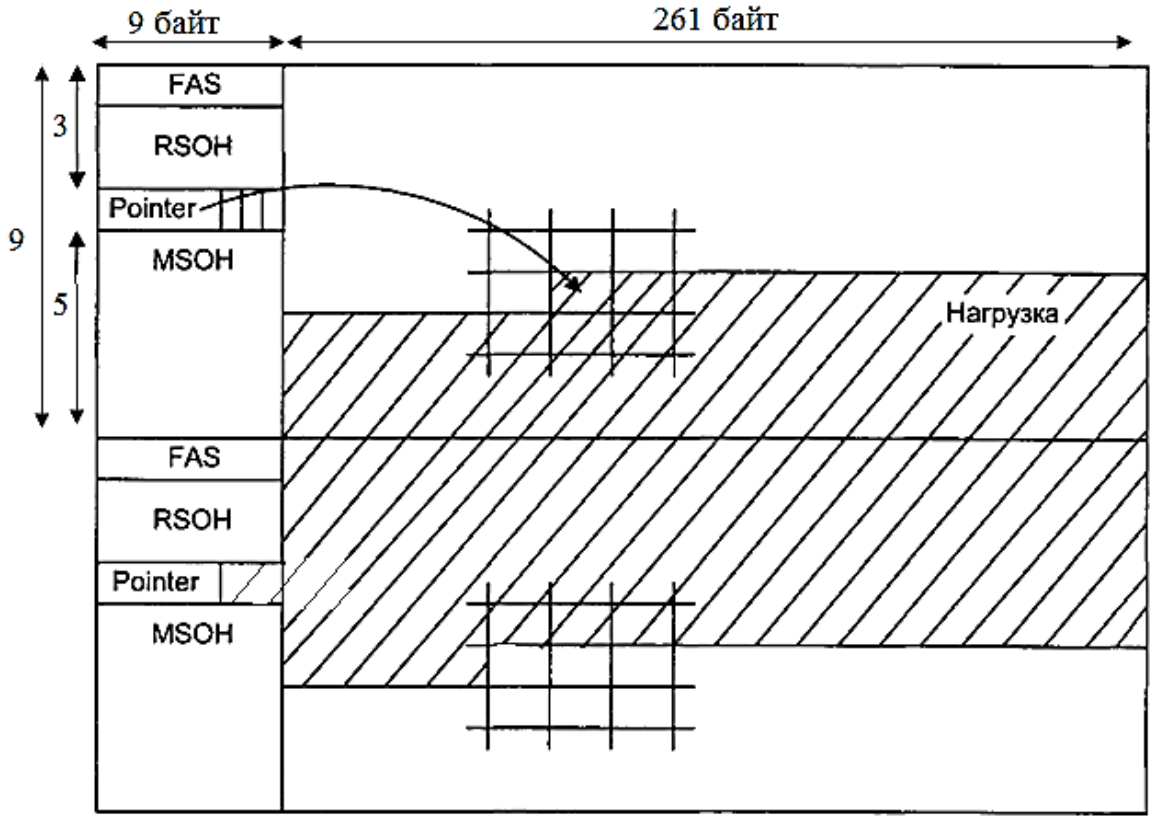


Рисунок 3.6 - Отрицательное выравнивание

Побайтная структура указателя кадра синхронного транспортного модуля STM-1 представлена на рисунке 3.7.

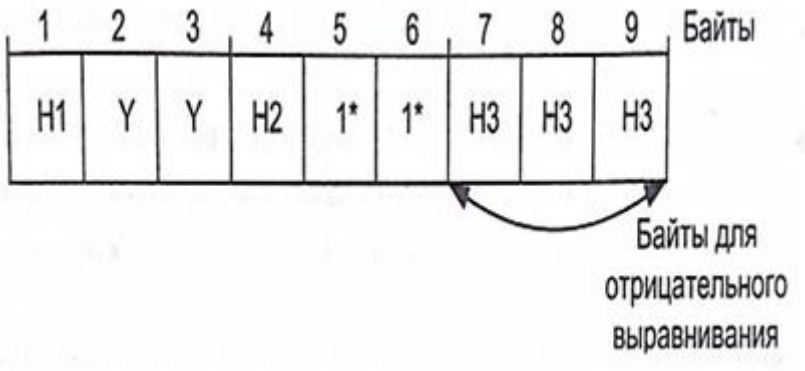


Рисунок 3.7 - Структура указателя кадра модуля STM-1

В указателе кадра байты Y и 1 являются несущественными: 1 состоит из одних единиц; Y=1001SS11, где S S = 1 0 для AU-3 и AU-4, которые будут определены далее. Байты HI и H2 содержат значение указателя, для которого отведено 10 бит (рисунок 3.8).

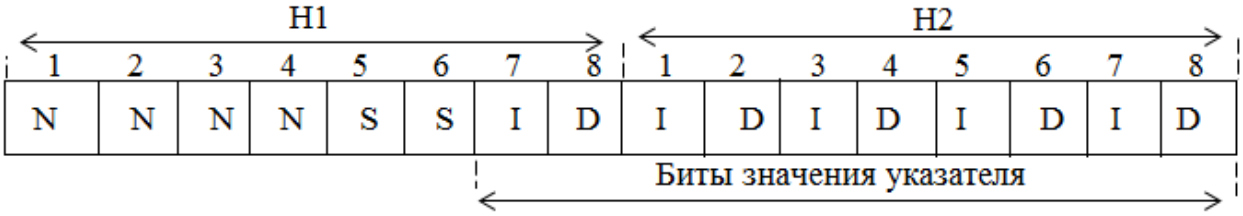


Рисунок 3.8 - Структура байтов H1 и H2 в указателе кадра модуля STM-1

На рисунке 3.8 видно, что из 10 бит значения указателя кадра 2 бита расположены в конце байта HI, а остальные 8 - в байте H2. Допустимые значения указателя кадра лежат в пределах 0...782 в десятичной системе счисления. Буквами I и D биты значения указателя разделены на две группы в соответствии с наличием или отсутствием процедуры выравнивания. Это связано с тем, что если имеет место процедура выравнивания, значение указателя должно увеличиваться или уменьшаться на единицу. Однако в канале передачи не исключены сбои, которые могут приводить к ложному изменению значения указателя кадра. Если можно было бы проводить процедуру накопления значений указателя за несколько кадров, то проблема бы снималась. Однако новое значение указателя должно вводиться сразу в кадр. Решение было найдено в том, что приращение указателя кодируется относительно старого значения путем инвертирования всех его нечетных бит I.

При уменьшении значения показателя инвертируются все четные биты D. Поэтому изменение значения указателя кадра можно распознать по изменению значений 5 бит в указателе. Принято, что если из 5 бит, по крайней мере, 3 бита инвертированы, то это подтверждает новое значение указателя кадра. В следующем кадре новое значение указателя формируется обычным путем.

В указателе кадра символами N обозначены биты флага новых данных. В нормальном состоянии устанавливаются значения NNNN = 0 1 10, а когда появляются новые данные, устанавливаются значения NNNN=1001. Символы S S имеют те же значения, которые указаны выше, и определяют тип нагрузки AU-3 или AU-4.

Как отмечалось выше, заголовок SON кадра STM-1 состоит из двух блоков: RSOH - *заголовок регенераторного участка* размером 3x9 = 27 байт и MSOH - *заголовка мультиплексного участка* размером 5x9 = 45 байт. Структура заголовка кадра показана на рисунке 3.9. Видно, что основная информация содержится в столбцах 1, 4 и 7. Свободные байты зарезервированы для будущих задач стандартизации, 6 байтов, отмеченных на рисунке перекрестием, зарезервированы для национального использования.

В заголовке кадра байты Al, A2 в первой строке отведены под *сигнал синхронизации (выравнивания) кадра* (A1 = 11110110, A2 = 00101000); C1 - байт идентификации наличия кадра STM-1 в кадре STN-N.

Следующие две строки относятся к заголовку регенераторного участка, к которому) имеют доступ только регенераторы линейного участка. Данные строки включают:

- B1, используемый для проверки на четность с целью обнаружения ошибок в предыдущем кадре;
- E1 используется для организации *служебных каналов связи* со скоростью передачи 64 кбит/с;
- F1 зарезервирован для создания канала передачи данных пользователя;
- D1-D3 формируют *встроенный канал управления* ECC (Embedded Communication Channel) со скоростью передачи 192 кбит/с.

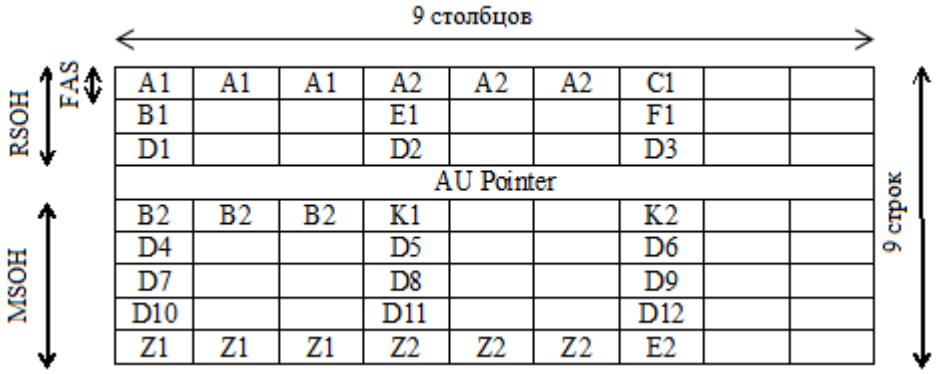


Рисунок 3.9 - Структура заголовка кадра STM-1

Последние пять строк заголовка кадра SOH составляют заголовок мультиплексорного участка RSOH, который доступен только мультиплексорам. В данном участке ряд байтов (B2, E2, D4...D12) предназначен для реализации функций аналогичных функциям в регенераторном участке. Кроме того, здесь реализуется канал автоматического переключения резервирования APS (Automatic Protection Switching) - байты Kl, К2. Канал APS используется также для *сигнала индикации аварийного состояния* AIS (Alarm Indication Signal) и для сигнализации ошибок (отказов) удаленного оборудования. Байты Zl, Z2 являются резервными, кроме *5-8 бит байтов* Z1, используемых *для сообщений о статусе синхронизации.*

3.4.2 Мультиплексирование цифровых потоков в СЦИ/SDH.

Инкапсуляция сигнала нагрузки 140 Мбит/с. Структура кадра в технологии СЦИ/SDH формируется с помощью метода *инкапсуляции,* т.е. *последовательных вложений.* Именно он задает определенную иерархию, когда структура верхнего уровня строится из структур нижнего, а несколько структур одного и того же уровня могут быть объединены в одну более общую структуру. Для этого используют понятие *контейнера.* В него упаковываются цифровые сигналы входных каналов (каналов доступа), скорость передачи которых соответствует скорости стандартного ряда ПЦИ/PDH, начиная от канала E1 и выше. Такие входные сигналы будем называть *сигналами нагрузки (потоком нагрузки)* ПЦИ/PDH. Аналогично входные сигналы, скорость передачи которых соответствует скоростям СЦИ/SDH, будем называть *сигналами нагрузки (потоком нагрузки)* СЦИ/SDH [55, 78].

Таким образом, выделяется еще одна особенность технологии СЦИ/SDH - поддержка в качестве входных сигналов каналов доступа *только сигналов нагрузки (потока нагрузки)* ПЦИ/PDH и СЦИ/SDH.

По *типоразмеру* контейнеры делятся на четыре уровня, соответствующие уровням иерархии ПЦИ/PDH. К каждому контейнеру крепится *ярлык,* содержащий управляющую информацию для сбора статистики прохождения контейнера. Контейнер с таким ярлыком используется для переноса информации и является *логическим,* а не физическим объектом, поэтому его называют *виртуальным.*

Рассмотрим формирование самого большого виртуального контейнера, предназначенного для размещения цифрового потока (сигнала) нагрузки E4, имеющего скорость передачи 140 Мбит/с. На рисунке 3.10 показана схема размещения потока E4 в синхронном транспортном модуле STM-1.

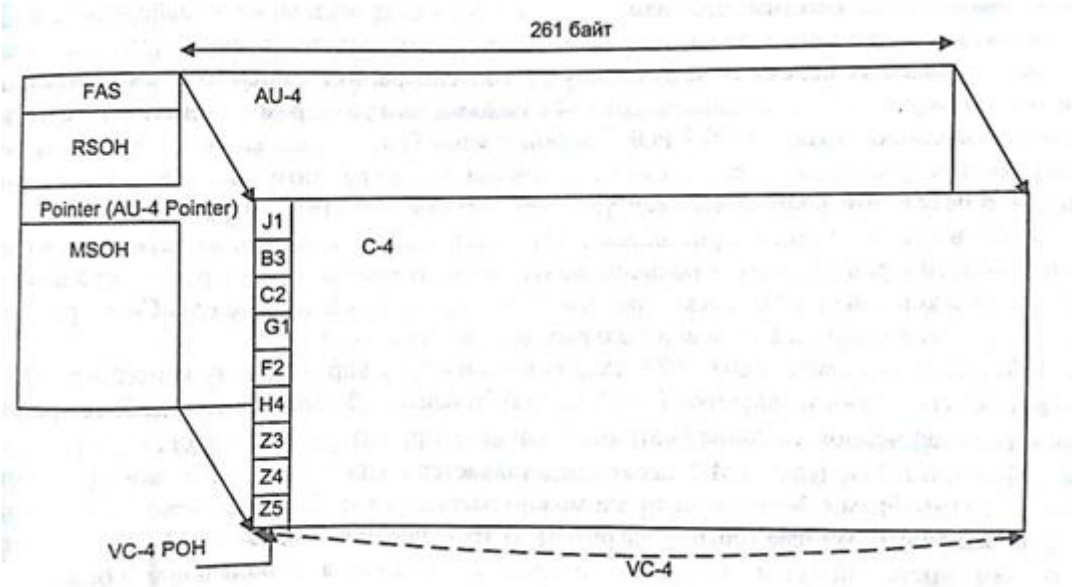


Рисунок 3.10 – Размещение потока нагрузки 140 Мбит/с в модуле STM-1

Сигнал нагрузки (140 Мбит/с) на интервале времени дискретизации 125 мкс имеет 17408 бит полезной информации. Он размещается в контейнере размером 9х260 байт (18720 бит), который назван С-4. К контейнеру добавляется заголовок тракта РОН (Path OverHead), представляющий собой один столбец (шириной 1 байт). В результате формируется виртуальный контейнер VC-4, который размещается в транспортном модуле (кадре) с помощью указателя. Размещение полезной нагрузки в кадре STM-1 задается указателем. Виртуальный контейнер вместе с указателем называют *административным модулем* AU-4 (Administrative Unit). При размещении виртуального контейнера VC-4 указатель (Pointer) называют AU-4 *Pointer*. Указатель задает адрес начала полезной нагрузки, т.е. в рассматриваемом случае -начало виртуального контейнера.

Байты заголовка тракта РОН виртуального контейнера VC-4 (рисунок 3.10) имеют следующие назначения:

Л - используется в точке назначения контейнера VC-4 для подтверждения установления связи с передатчиком; ВЗ - байт проверки четности;

С2 - указатель загрузки контейнера и типа полезной нагрузки;

G1 - состояние тракта дает информацию обратной связи от терминальной к исходной точке формирования тракта; F2 - может быть задействован пользователем данного тракта для организации канала связи;

Н4 - обобщенный индикатор положения нагрузки используется при организации *мулътикадра,* в том числе для указания восстановления первого байта мультикадрового TU.

Инкапсуляция сигнала нагрузки 2 Мбит/с. В сетях СЦИ/SDH характерным является поток (сигнал) нагрузки Е1 со скоростью передачи 2 Мбит/с. Рассмотрим процесс инкапсуляции таких сигналов. На интервале 125 мкс сигнал нагрузки Е1 имеет 256 бит (32 байта) информации и размещается в контейнере размером 34 байта, получившим название С-12. Заметим, что

размер контейнера всегда несколько больше полезной нагрузки (размещаемого сигнала нагрузки). Это необходимо для реализации принципа «динамического плавания» полезной нагрузки внутри контейнера. Контейнер С-12 имеет наименьший типоразмер в отличие от контейнера С-4 с наибольшим размером. К контейнеру С-12 добавляется заголовок тракта VC-12 POH длиной в один байт, обозначаемый V5, с указанием маршрутной информации, используемой в основном для сбора статистики прохождения контейнера. В результате формируется виртуальный контейнер VC-12 размером 35 байт.

Далее, в соответствии с принципом инкапсулированные, необходимо несколько виртуальных контейнеров вложить в большие контейнеры. В нашем рассмотрении ограничимся наибольшим контейнером С-4 (ему соответствует виртуальный контейнер VC-4) и рассмотрим процедуру вложения в него виртуальных контейнеров VC-12.

Добавление *указателя TU-12 PTR* длиной в один байт к виртуальному контейнеру VC-12 превращает его в *модуль нагрузки* TU-12 длиной 36 байтов. Логически это удобнее представить в виде двумерной таблицы (матрицы) или *кадра* размером 9х4 байтов, с учетом того, что транспортный модуль STM-1 также представляется в виде кадра 9х270 байтов с 9 строками и 270 столбцами. Модуль нагрузки можно рассматривать как некоторый «внутренний сигнал» заданного размера (сигнал нагрузки). В транспортном модуле STM-1 формируется несколько таких сигналов нагрузки, которые подвергаются специальной обработке -*мультиплексированию с чередованием байт* (рисунок 3.11).

Нетрудно оценить, что в контейнере VC-4 размером 260х9 = 2340 байт теоретически можно разместить 65 модулей нагрузки TU-12 (65х36 = 2340 байт). Однако практически в транспортном модуле STM-1 размещают 63 модуля нагрузки TU-12 (63х36 = 2268 байт), а 72 байта резервируют для вспомогательных целей.

Размещаемые в контейнере VC-4 модули нагрузки компонуют в определенные группы, которые называют *группы модулей нагрузки* TUG (Tributary Unit Group). Сначала из каждых трех модулей нагрузки TU-12 в результате мультиплексирования с чередованием байт формируется группа нагрузочных модулей TUG-2 (рисунок 3.11 а). Всего можно сформировать 21 группу нагрузочных модулей TUG-2. Далее из каждых 7 групп нагрузочных модулей TUG-2 в результате аналогичного мультиплексирования с чередованием байт формируется 3 группы нагрузочных модулей TUG-3 (рисунок 3.11 *б), к* каждой из которых добавляется 2 столбца (29 байтов), состоящие из поля индикации нулевого указателя NPI (Null Pointer Indicator) и пустых байтов (балласт). Нулевой указатель NPI означает отсутствие контейнеров VC-3. В результате последнего побайтного мультиплексирования групп нагрузочных модулей TUG-3 добавления к ним двух столбцов пустых байтов получаем контейнер С-4 (рисунок 3.11 *в).* Далее стандартным образом к контейнеру С-4 добавляется заголовок тракта POH и получается виртуальный контейнер VC-4.

Следует заметить, что формирование групп нагрузочных модулей - это не что иное, как применение операции мультиплексирования с чередованием байт. В рассматриваемом примере в контейнере С-4 размещались одинаковые сигналы нагрузки 2 Мбит/с. В общем случае можно разместить различные сигналы полезной нагрузки.

Общая схема мультиплексирования различных сигналов полезной нагрузки в СЦИ/SDH в соответствии с Рек. G.707 ITU-T (в окончательной редакции) [96] приведена на рисунке 3.12. Знак xN около стрелок обозначает число мультиплексируемых сигналов (нагрузочных модулей или групп нагрузочных модулей).

Например, группу нагрузочных модулей TUG-3 можно сконструировать из 7 нагрузочных модулей TU-2; 6 нагрузочных модулей TU-2 и трех TU-12; 5 нагрузочных модулей Т1 2и6Ти-12ит.д.

Описанный режим отображений информации нагрузочных модулей на поле полезно нагрузки предполагает, что положение полезной нагрузки VC-4 определяется стандартным образом с помощью указателя AU-4 Pointer. Это делает ненужным использование указателей нагрузочных модулей TU-12 PTR.

Следует заметить, что формирование групп нагрузочных модулей - это не что иное, как применение операции мультиплексирования с чередованием байт. В рассматриваемом примере в контейнере С-4 размещались одинаковые сигналы нагрузки 2 Мбит/с. В общем случае можно разместить различные сигналы полезной нагрузки.

Общая схема мультиплексирования различных сигналов полезной нагрузки в СЦИ/SDH в соответствии с Рек. G.707 ITU-T (в окончательной редакции) [96] приведена на рисунке 3.12. Знак xN около стрелок обозначает число мультиплексируемых сигналов (нагрузочных модулей или групп нагрузочных модулей).

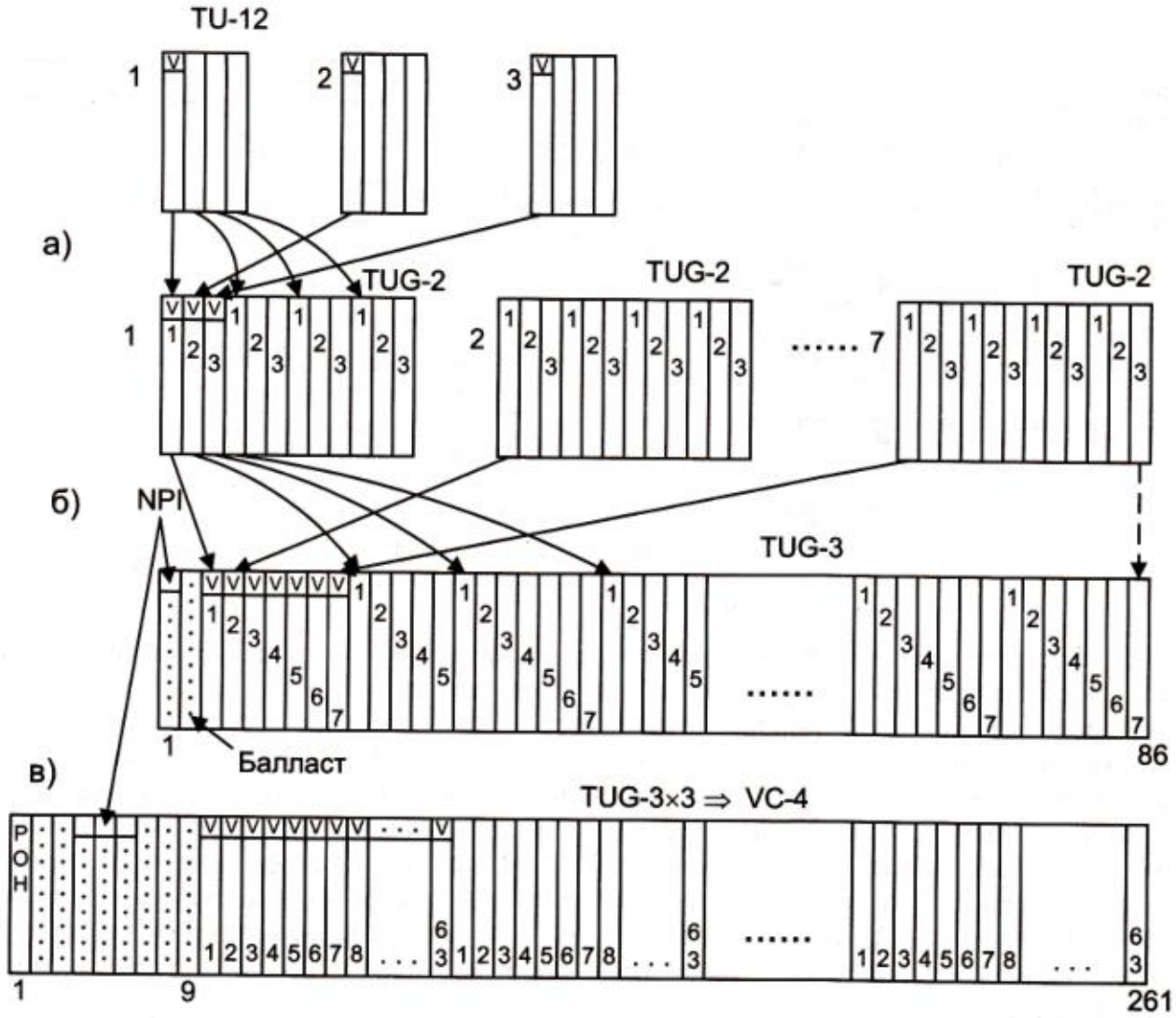


Рисунок 3.11 - Мультиплексирование TU-12 d TUG-3

Например, группу нагрузочных модулей TUG-3 можно сконструировать из 7 нагрузочных модулей TU-2; 6 нагрузочных модулей TU-2 и трех TU-12; 5 нагрузочных модулей TU -2 и 6 нагрузочных модулей TU-12.

Описанный режим отображений информации нагрузочных модулей на поле полезной нагрузки предполагает, что положение полезной нагрузки VC-4 определяется стандартным образом с помощью указателя AU-4 Pointer. Это делает ненужным использование указателей нагрузочных модулей TU-12 PTR.

Достоинство такого режима - более простая структура TU-n или TUG, допускающая более эффективную последующую обработку. Недостаток очевиден: исключается любая несинхронность при транспортировке контейнера.

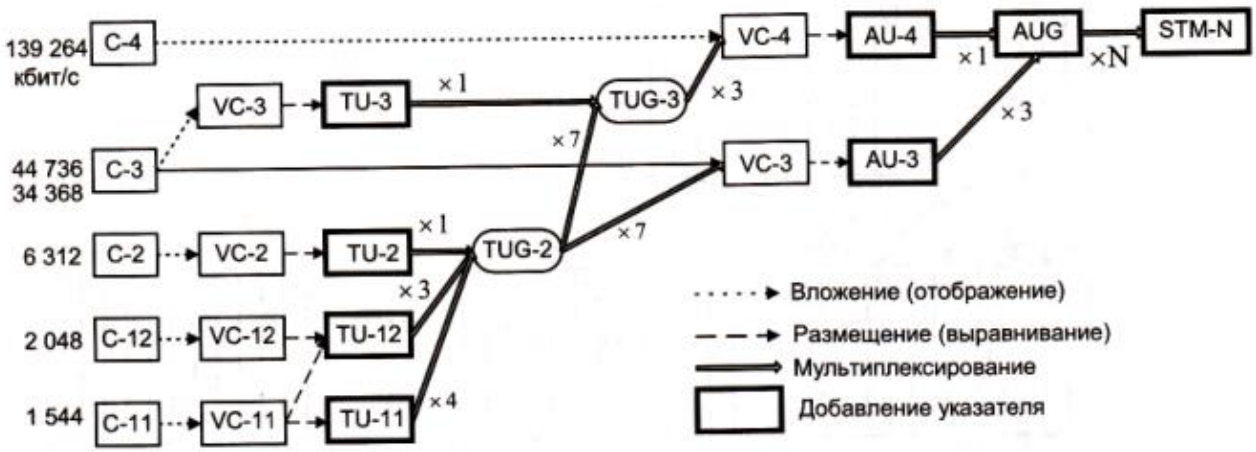


Рисунок 3.12 - Общая схема мультиплексирования в СЦИ/SDH (G.707 ITU-T)

Мультикадры. Ранее было показано, что нагрузочный модуль TU-12 содержит 5 байт, один из которых отведен под указатель. Однако одного байта для нормального функционирования указателя недостаточно (так, в указателе AU-4 PTR под указателя отведено 6 байт). Поэтому для обеспечения плавающего режима формируется *мультикадр,* состоящий из нескольких кадров, в пределах которого мог бы плавать контейнер нижнего уровня (С-12). Для контейнеров VC-12 *мультикадр* формируется из четырех последовательных кадров VC-r2 и имеет размер 35x4 - 140 байт; период повторения 500 мкс.

При создании мультикадра допускается три варианта отображения сигналов нагрузки на его структуру: *асинхронное, бит-синхронное, байт-синхронное.* Бит-синхронное отоброжение применяется для сигнала нагрузки, не имеющего байтовой структуры, и не рекомендуется для международных соединений [51]. Поэтому далее его не будем рассматривать.

Асинхронное отображение сигнала 2 Мбит/с. Рассмотрим асинхронное отображение сигнала 2 Мбит/с. На рисунке обозначено: РОН - общий заголовок тракта; 32 байта - байты для загрузки нагрузочного сигнала (2,048 Мбит/с); R - фиксированный балласт; биты S1 и S2 предназначены для положительного и отрицательного выравнивании скорости; С2 и С1 - биты управления выравниванием.

Первые два бита (BIP-2) используются для проверки четности, третий бит FEBE (Far End 31ock Error) - для информации источника передаваемого сообщения о наличии ошибки, обнаруженной при проверке на четность. Четвертый бит не используется. 5-7 биты дают информацию о том, был ли собран виртуальный контейнер или нет, а также указывают на тип отображения в нем нагрузки. Восьмой бит FERF (сбой при приеме на удаленном конце) указатель, оповещающий источник сообщения при получении *сигнала индикации аварийного состояния* AIS.

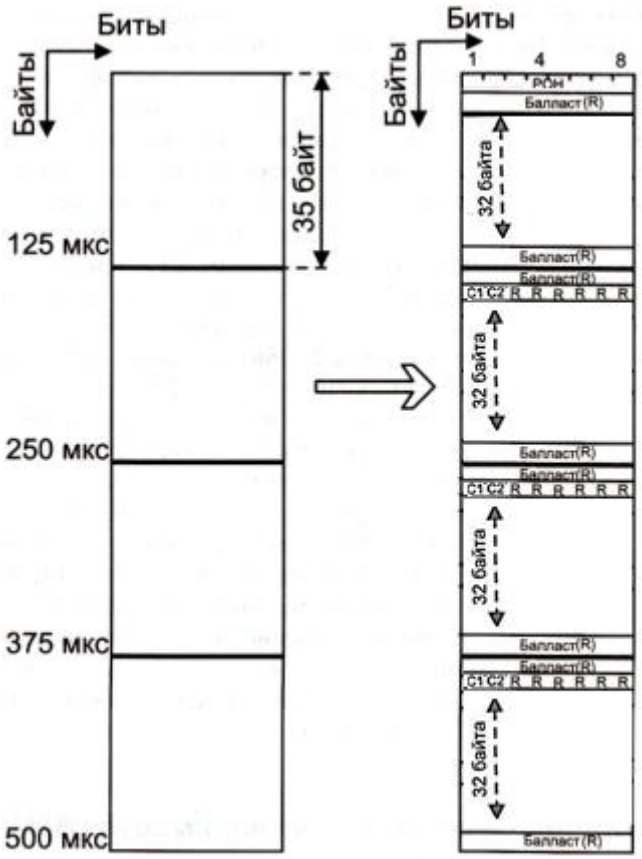


Рисунок 3.13 - Мультикадр при асинхронном отображении сигнала 2 Мбит/с

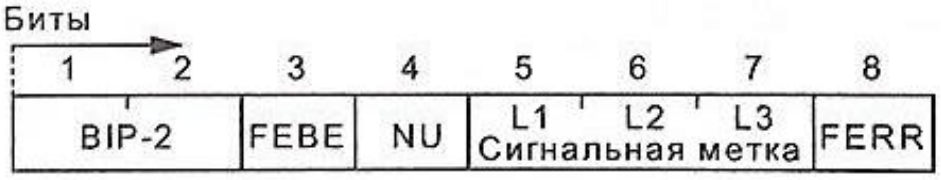


Рисунок 3.14 - Структура заголовка РОН виртуального контейнера VC-12

Далее, как уже отмечалось, к каждому виртуальному контейнеру VC-12 добавляется указатель нагрузочного модуля размером в 1 байт (V), в результате формируется структура «мультикадрового» нагрузочного модуля TU-12, приведенная на рисунке 3.15.

У мультикадрового нагрузочного модуля под указатель имеется уже 4 байта V1-V4, их использование аналогично тому, какое было для указателя AU-4 PTR (рисунок 3.15). Байты VI. V2 указывают положение начального байта мультикадра VC-12 (рисунок 3.16).

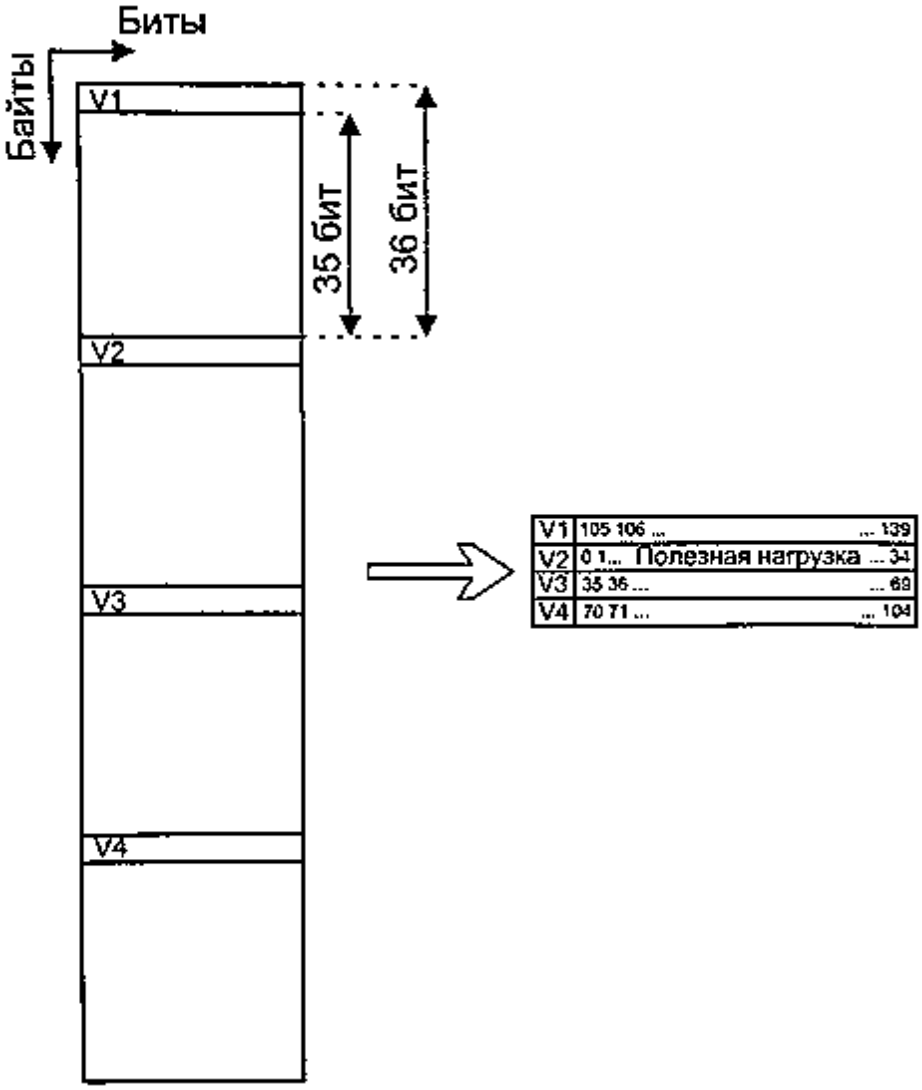


Рисунок 3.15 - Мультикадровый нагрузочный модуль

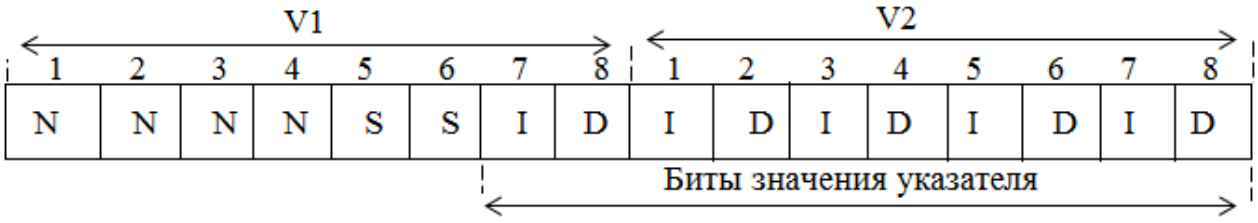


Рисунок 3.16 - Структура байтов V1 и V2

Буквами N обозначены биты флага новых данных. Как и в нормальном состоянии устанавливается NNNN = 0110, а когда новые данные появляются, устанавливается N N N N = 001. Символы SS идентифицируют тип нагрузки; для VC-12 имеем S S =10.

Под значение указателя отведено 10 бит, из них 2 бита расположены в конце байта VI, а остальные 8 - в байте V2. Буквами I и D биты значения указателя разделены на две группы для идентификации факта наличия или отсутствия процедуры выравнивания. Расположение адресов начала полезной нагрузки (мультикадра VC-12, а точнее его заголовка POH) начинается после значения указателя, т.е. после байта V2 (рисунок 3.15). Байт V3 и следующий за ним байт используются для выравнивания скорости. Выравнивание осуществляется по отношению к первому кадру и может быть как положительным, при котором кадры сдвигаются от V3 к V4, для чего используется следующий за V3 байт, так и отрицательным (от V4 к V3), для чего используется поле указателя V3. Байт V4 - резервный.

Дальнейшее мультиплексирование нагрузочных модулей в группы нагрузочных модулей проводится в соответствии со схемой, приведенной на рисунке 3.15.

Байт-синхронное отображение сигнала 2 Мбит/с. Термин *синхронное* отображение означает, что фаза транспортируемого нагрузочного сигнала 2 Мбит/с совпадает с фазой виртуального контейнера, т.е. каждый временной слот (временной, предназначенный для размещения одного байта информации) нагрузочного сигнала располагается в заранее предопределенном байте контейнера. В то же время рассматриваемый *плавающий режим* подразумевает, что сложение контейнера может плавать внутри кадра, и оно задается TU указателем.

Структура мультикадра при байт-синхронном отображении приведена на рисунке 3.17. На рисунке 3.17 структура заголовка POH такая же, что и на рисунке 3.14; буквой R обозначен балласт; временной слот R при необходимости можно использовать в качестве нулевого слота (тайм-слот 0). Байты P1 и P0 имеют значение ноль, кроме последних в мультикадре, которые имеют значение 1. Временные слоты, обозначенные CAS, отведены под внутриканальную сигнализацию, так как аналогичные слоты в нагрузочном сигнале PDH могут содержать канал соответствующей сигнализации. В этом случае P-биты указывают фазу мультикадровой сигнализации.

3.4.3 Схема формирования транспортного модуля STM-N.

Транспортный модуль (сигнал) STM-1 со скоростью передачи 155,52 Мбит/с в иерархии скоростей СЦИ/SDH является базовым. Скорости последующих уровней иерархии являются кратными скорости сигнала STM-1. В настоящее время ряд скоростей в СЦИ/SDH сформировался в соответствии с геометрической прогрессией, т.е. с коэффициентами кратности ' = 1, 4, 16, 64, 256. Транспортным синхронным модулям STM-N (STM-1, STM-4, STM-16, >TM-64, STM-256) соответствуют скорости передачи 155,52, 622,08, 2488,32, 9953,28 Мбит/с и 39813,12 Мбит/с.

Сигналы более высокой ступени иерархии формируются путем мультиплексирования сигналов STM-1, например, сигнал STM-4 образуется в результате *мультиплексирования с гредованием байт* четырех сигналов STM-1.

Продолжая рассмотренные выше схемы формирования административных модулей AU-4 (рисунок 3.12), введем понятие *группы административных модулей* AUG (Administrative Vnit Group). Смысловое назначение такой группы такое же, что и для группы нагрузочных модулей, а именно: для определения порядка административных модулей и для проведения дальнейшей процедуры мультиплексирования. Для административных модулей AU-4 административная группа AUG совпадает с AU-4. В других случаях (которые здесь не рассматриваются) возникают более сложные ситуации. При формировании сигнала STM-4 мультиплексированию с чередованием байт подвергаются административные модули AUG соответствующих сигналов STM-1. К полученному в результате такой операции сигналу добавляется *заголовок участка* SOH.

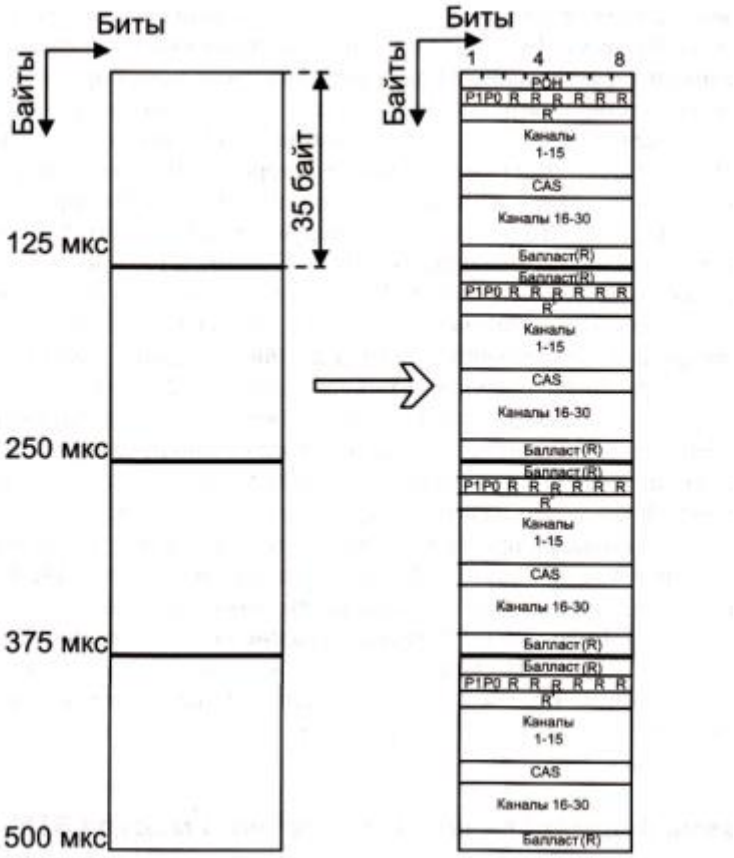


Рисунок 3.17 - Байт-синхронное отображение сигнала 2 Мбит/с

Заголовок SOH кадра STM-4, в отличие от заголовка кадра STM-1, имеет размер 9x3c байт (рисунок 3.18). Назначение байт в данном заголовке такое же, что для заголовка STM-I.

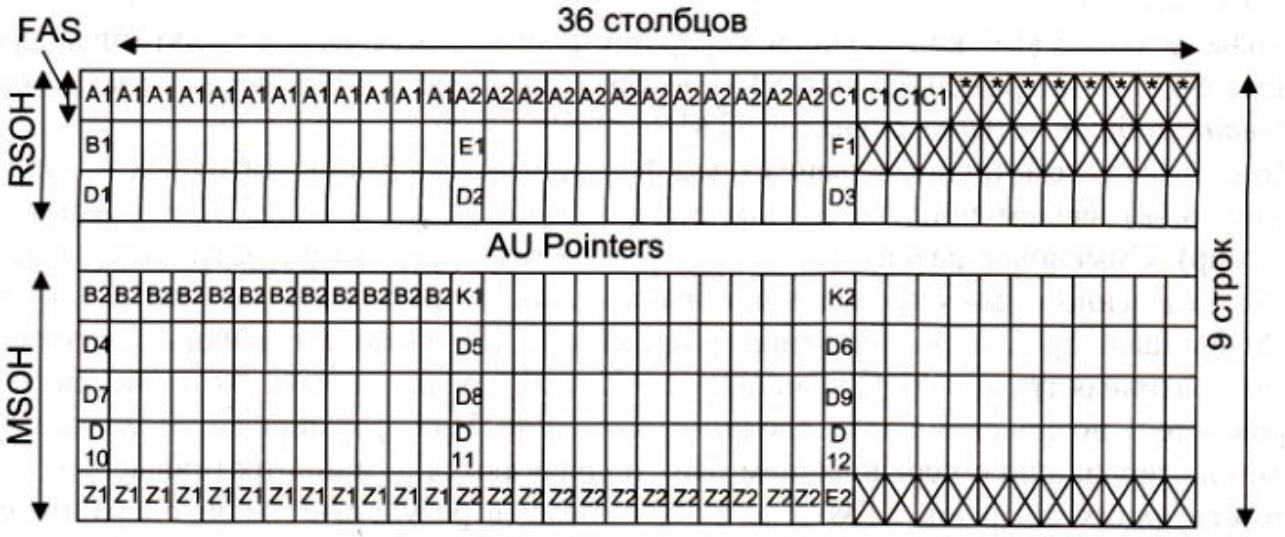


Рисунок 3.18 - Структура заголовка SOH для кадра STM-4

Вопросы управления и синхронизации, резервирования и построения топологии сетей на основе технологии СЦИ/SDH рассматриваются отдельно в последующих разделах.

3.5 Технологии волнового и плотного волнового мультиплексирования

Технологии волнового мультиплексирования ВМП/WDM и плотного волнового мультиплексирования ПВМП/DWDM - сравнительно новые сетевые технологии для транспортных магистральных сетей, основанные на спектральном уплотнении оптического излучения по длине волны [11, 61]. Физико-технические основы спектрального уплотнения оптического излучения для систем передачи и обработки информации были разработаны в 1970-80 г. [11, 54]. В настоящее время технология DWDM является основой построения оптических сетей и играет для систем СЦИ/SDH роль аналогичную той, что и мультиплексирование с частотным разделением каналов для аналоговых систем передачи, хотя механизмы мультиплексирования в них различные.

В рамках многоуровневой модели взаимодействия базовых сетевых технологий СЦИ/SDH, WDM/DWDM, ATM, IP. При этом, так как оптика уже встроена во многие сетевые устройства (коммутаторы/маршрутизаторы IP, аппаратуру GE, MBB/ADM, DWDM) применение технологии DWDM позволяет напрямую сопрягать интерфейсы ATM, GE или IP с физическими интерфейсами оптической среды передачи (оптическим волокном).

3.5.1 Основы технологии WDM/DWDM.

Общие сведения. Несмотря на достаточно большой срок от начала разработки систем и мультиплексоров WDM, время широкого признания WDM как конкурентной сетевой технологии фактически пришло немногим более

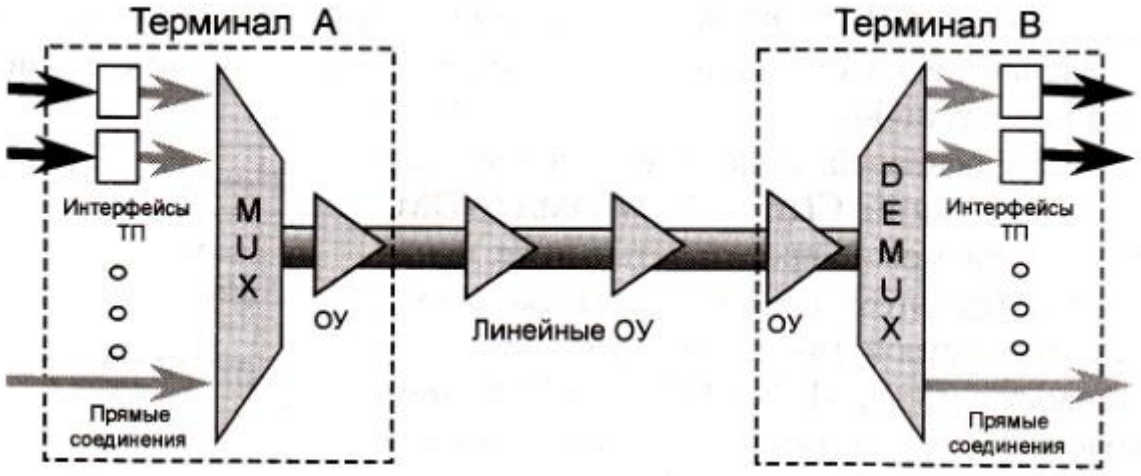
пяти лет назад, когда появились первые полнодуплексные 4-канальные системы с разносом несущих 800...400 ГГц [61, 110]. За последние три года аппаратуру WDM/DWDM стали широко применять на сетях операторов дальней связи. Выпускаемая аппаратура WDM/DWDM позволяет объединять в одном оптическом волокне до 40 и более оптических каналов, а некоторые промышленные системы DWDM позволяют объединять до 128-160 каналов [16, 61].

Технологии DWDM, в отличие от WDM (в которой обычно используются окна прозрачности 1310 и 1550 нм или дополнительно область длин волн в окрестности 1650 нм), присущи две важные особенности:

– использование только одного окна прозрачности 1550 нм в пределах области длин волн (1530...1560 нм) усиления оптических волокон, легированных эрбием;

– малые интервалы по длине волны ДА, между мультиплексируемыми каналами, обычно равные 3,2/1,6/0,8 или 0,4 нм.

Мультиплексоры DWDM рассчитаны на работу с большим числом каналов (до 32 и более) со строго определенными длинами волн и обеспечивают возможность мультиплексирования (демультиплексирования) одновременно как всех каналов, так и для ввода/вывода одного или нескольких каналов из общего оптического потока с большим числом каналов. Выходные оптические интерфейсы (порты) демультиплексора DWDM закреплены за определенными длинами волн, поэтому говорят, что такое устройство осуществляет пассивную маршрутизацию по длинам волн. Из-за малой разницы в длине волн каналов и необходимости работы с большим числом каналов одновременно, мультиплексоры DWDM требуют существенно большей прецизионности в изготовлении по сравнению с мультиплексорами WDM. Все это приводит к более высокой стоимости аппаратуры DWDM по сравнению WDM.



ОУ-оптический усилитель, MUX-оптический мультиплексор, DEMUX – оптический демультиплексор, ТП-транспондер.

Рисунок 3.19 - Структура систем DWDM

Структурная схема системы DWDM (рисунок 3.19) включает следующие основные блоки: транспондеры (приемопередатчики), оптические мультиплексоры/демультиплексоры MUX/DEMUX, усилители (в составе аппаратуры DWDM), линейные усилители и стабильные источники.

Пространственное разделение каналов и стандартизация DWDM. Основным параметром в технологии DWDM является интервал в длинах волн оптического излучения соседних каналов. Стандартизация пространственного распределения оптических каналов является основой для возможности тестирования на взаимную совместимость оборудования разных производителей. В Рек. G.692 ITU-T определен частотный план систем DWDM с разнесением частот между соседними каналами 100 ГГц, что соответствует интервалу по длине волны *AX* « 0,8 нм. Продолжает обсуждаться возможность принятия частотного плана с еще меньшим частотным интервалом 50 ГГц *(AX*« 0,4 нм).

Все сетки, кроме одной 400/500, имеют равноудаленные по оптической несущей частоте каналы. Равномерное распределение каналов позволяет оптимизировать работу волновых конвертеров, перестраиваемых лазеров и других устройств полностью оптической сети, а также облегчает возможность ее дальнейшего наращивания. Реализация той или иной сетки частотного плана во многом зависит от типа используемых волоконно-оптических усилителей на основе кварца, легированного эрбием, EDFA (Erbium-Dopped Fiber Amplifier), скорости передачи в каналах - STM-16 (2,4 Гбит/с), STM-64 (10 Гбит/с) или STM-256 (40 Гбит/с) и влияния нелинейных эффектов в волокне оптического усилителя [16, 61].

Более плотная, пока еще не стандартизированная сетка частотного плана, с интервалом в 50 ГГц позволяет эффективнее использовать спектральный диапазон длин волн 1540...1560 нм, в котором работают стандартные оптические усилители EDFA. Однако, во-первых, с уменьшением межканальных интервалов растет влияние эффекта четырехволнового смешения в волокне оптического усилителя, что ограничивает максимальную длину регенерационного участка линии. Во-вторых, при уменьшении межканального интервала по длине волны до значения примерно 0,4 нм начинают проявляться ограничения по мультиплексированию каналов более высокого уровня, например, STM-64 (рисунок 3.20). Видно, что мультиплексирование каналов уровня STM-64, имеющих частотный интервал 50 ГГц, недопустимо из-за перекрытия спектров соседних каналов. Кроме того, частотный интервал в 50 ГГц накладывает более жесткие требования к перестраиваемым лазерам, мультиплексорам и другим компонентам аппаратуры систем DWDM, что ведет к увеличению ее стоимости.

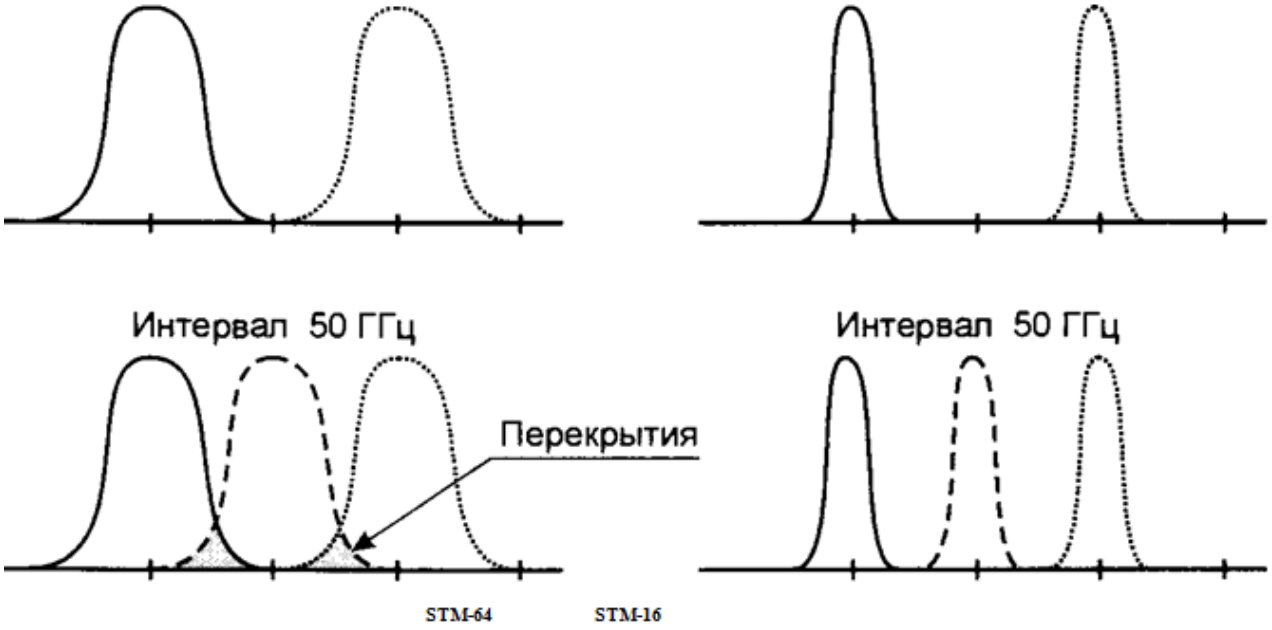


Рисунок 3.20 - Спектральное размещение каналов разного уровня в оптическом волокне

Понимание того, какие ограничения и преимущества имеет каждый частотный план, позволяет при планировании развития и наращивании пропускной способности сети сознательно подходить к выбору аппаратуры DWDM и избежать значительных трудностей и излишних капитальных затрат при построении магистральных транспортных сетей на основе такой технологии.

В настоящее время ведутся работы по созданию надежных оптических усилителей HDFA, обеспечивающих большую линейность коэффициента усиления (во всей спектральной области 1530... 1560 нм). С увеличением рабочей области оптических усилителей EDFA становится возможным мультиплексирование 40 каналов STM-64 с частотным интервалом 100 ГГц общей емкостью полосы 400 ГГц в расчете на одно оптическое волокно.

Число каналов, которое можно разместить в стандартном диапазоне длин волн, реализуемых в полосе усиления оптических усилителей 5,1 ТГц, определено в [61]. Результаты представлены в таблице 3.4, где в верхней строке указаны частотные интервалы или шаги сетки частотного плана, а в двух нижних - соответствующие ему максимальные числа каналов N и числа каналов N_{2i}, выбираемые по схеме шага, кратного 2^N.

Таблица 3.4 - Оценка максимального числа каналов систем DWDM [61]

Частотный интервал, ГГц	1000	600	500	400	200	100	50
Число каналов N	5	8	10	12	25	51	102
Число каналов N_2	4	8	8	8	16	32	64

Из данных таблицы видно, что схема частотного плана с числом каналов, кратным 2 , которой придерживается ряд производителей аппаратуры DWDM,

нерациональна при использовании стандартизованной полосы усиления оптических усилителей EDFA. В окончательной редакции Рек. G.692 ITU-T допускает максимально не более 41 канала для частотного интервала 100 ГГц и не более 81 канала для частотного интервала 50 ГГц. Эти показатели максимального числа каналов уже перекрыты целым рядом компаний, производящих аппаратуру DWDM с 160 (Lucent Technologies, Siemens, ECI Telecom и др.) и 250 (Alcatel) каналами.

3.5.2 Системы DWDM в оптических сетях.

Применение систем и аппаратуры DWDM в магистральных транспортных сетях открывает широкие перспективы для практически неограниченного расширения суммарной полосы передаваемых сообщений по одному и тому же оптическому волокну. Рассмотрим основы классификации систем WDM и некоторые практические применения таких систем в оптических транспортных сетях.

Приведем классификацию систем WDM на основе канального плана. Системы WDM в настоящее время разделяют по числу каналов и шагу частотного плана на три типа (мультиплексоры WDM):

– *обычные* WDM;

– *плотные* WDM (DWDM);

– *высокоплотные* WDM - HDWDM (High Dense Wawelength Division Multiplexing).

Несмотря на то что до настоящего времени отсутствует стандарт по классификации систем WDM, вслед за компанией Alcatel и ECI Telecom в соответствии с *канальным* или *лапотным планом* можно классифицировать системы WDM следующим образом [61]:

Система	Частотный интервал, ГГц, не более	Число каналов
WDM	200	<16
DWDM	100	<64
HDWDM	50	>64

В этой классификации число каналов для каждого класса систем WDM достаточно условно, но частотный интервал между каналами имеет существенное значение. Для высоко-плотных систем WDM (HDWDM) он может достигать в некоторых случаях и 25 ГГц. С тактической точки зрения очень важно знать взаимосвязь допустимого частотного интервала $\Delta\nu_{доп}$, числа каналов *N,* допустимого интервала по длине волны $\Delta\Lambda_{доп}$ для разных уровни каналов СЦИ/SDH с учетом допустимого частотного интервала между оптическими несущими ν_H. Указанные параметры приведены в таблице 3.5 для стандартного окна прозрачности оптического волокна [16].

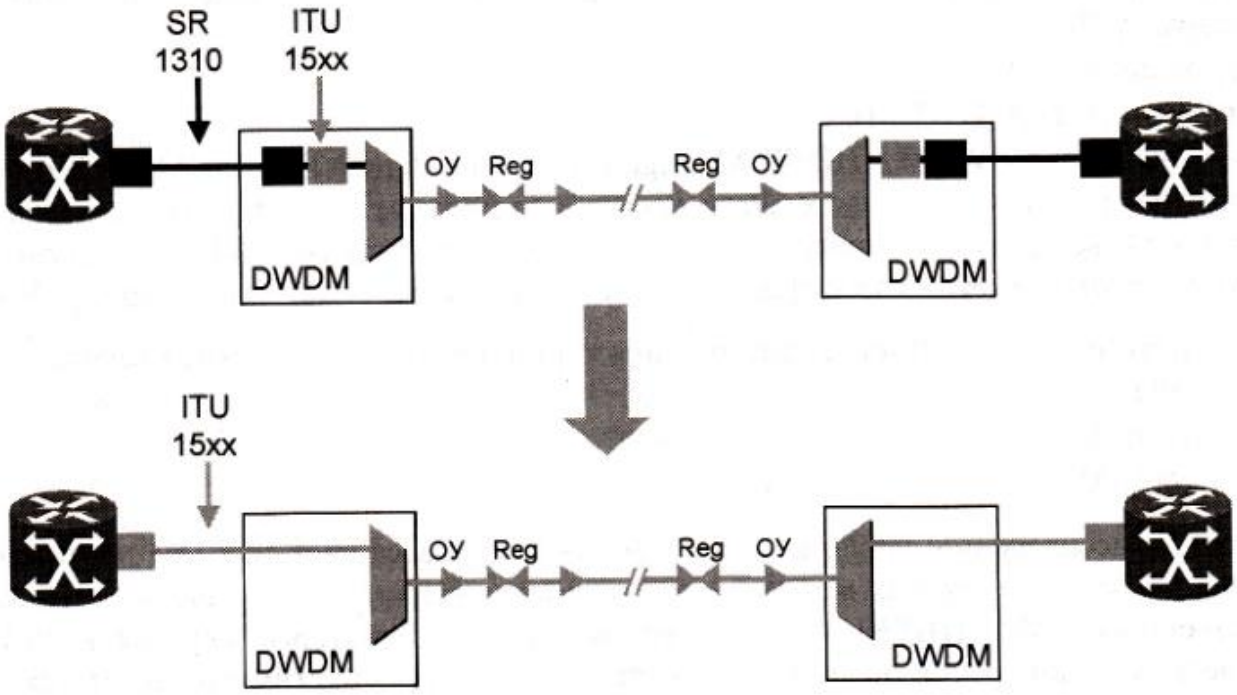
Рассмотрим примеры, иллюстрирующие возможности применения систем DWDM в оптических сетях. В настоящее время прогресс в создании аппаратуры систем DWDM насколько стремителен, что создатели стандартов и

рекомендаций ITU-T не вполне успевают за их разработками. Например, имеется несоответствие оптических интерфейсов систем СЦИ/SDH (Рекомендация G.957) и DWDM (Рекомендация G.692) по стабильности длины волны и ширины спектральной линии. На практике это несоответствие устраняют применением специальный транспондеров (приемопередатчиков).

Таблица 3.5 - Допустимое разнесение каналов по частоте (длине волны) систем DWDM

Уровень иерархии СЦИ/SDH	Допустимый частотный интервал ν_H, ГГц	Число каналов N	Допустимый интервал		
			по частоте $\Delta_{\nu доп}$, ГГц	по длине волны, нм	
				$\Delta\lambda_{доп}$, нм	$\Delta\lambda_{доп}$, (ν,,=50 ГГц)
STM-4	3,11	1300	0,311	0,0025	±0,16
STM-16	12,5	320	1,25	0,01	±0,04
STM-64	50	80	5	0,04	±0,01
STM-256	200	20	20	0,16	—

В настоящее время разработаны и промышленно выпускаются системы DWDM с прямыми оптическими интерфейсами в соответствии с рекомендациями ITU-T, в отличие от применявшихся ранее с опорными источниками SR (Source Reference), длиной волны 1310 нм и длинами волн 1530...1550 нм (рисунок 3.21).



ОУ- оптический усилитель; Reg – регенераторы; ITU, SR- стабильные оптические источники.

Рисунок 3.21 - Переход к прямым оптическим интерфейсам в системах DWDM

На рисунках 3.22 и 3.23 показаны варианты применения транспондеров DWDM в каналах дальней связи и их сопряжения с различной аппаратурой оптических сетей как по оптическим, так и электрическим интерфейсам.

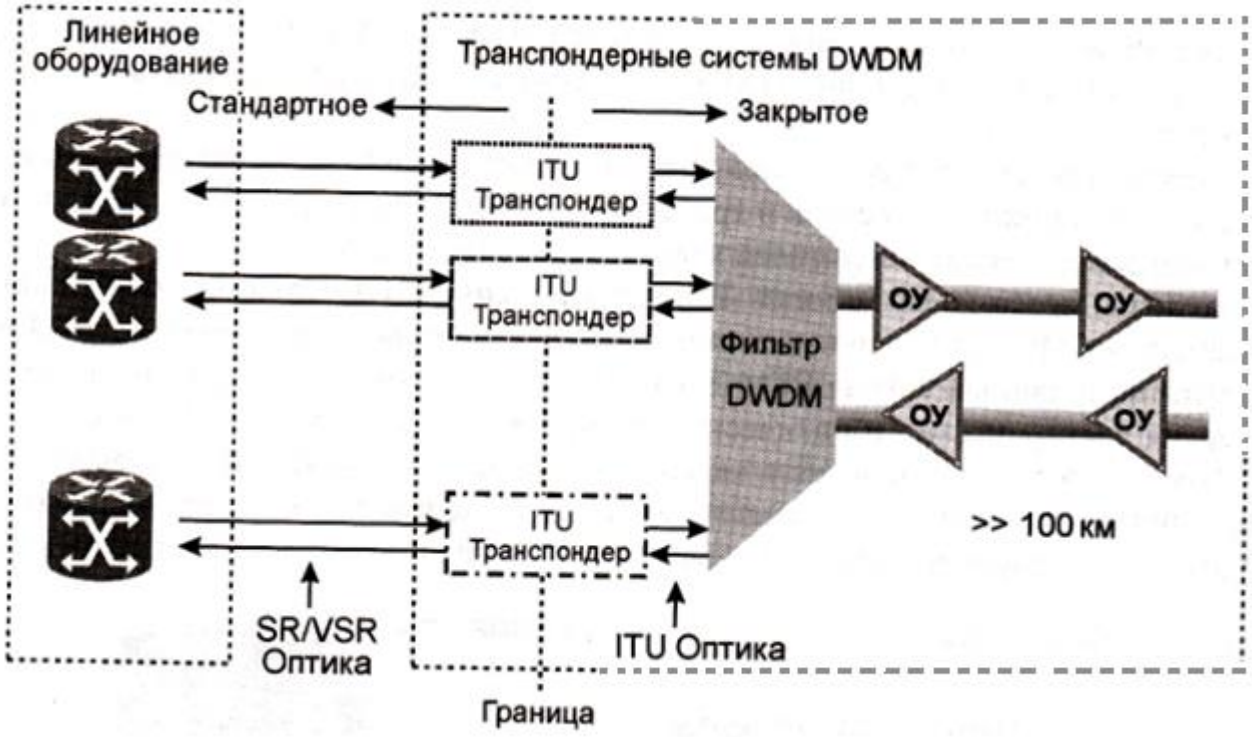


Рисунок 3.22 - Транспортные системы DWDM в каналах дальней связи

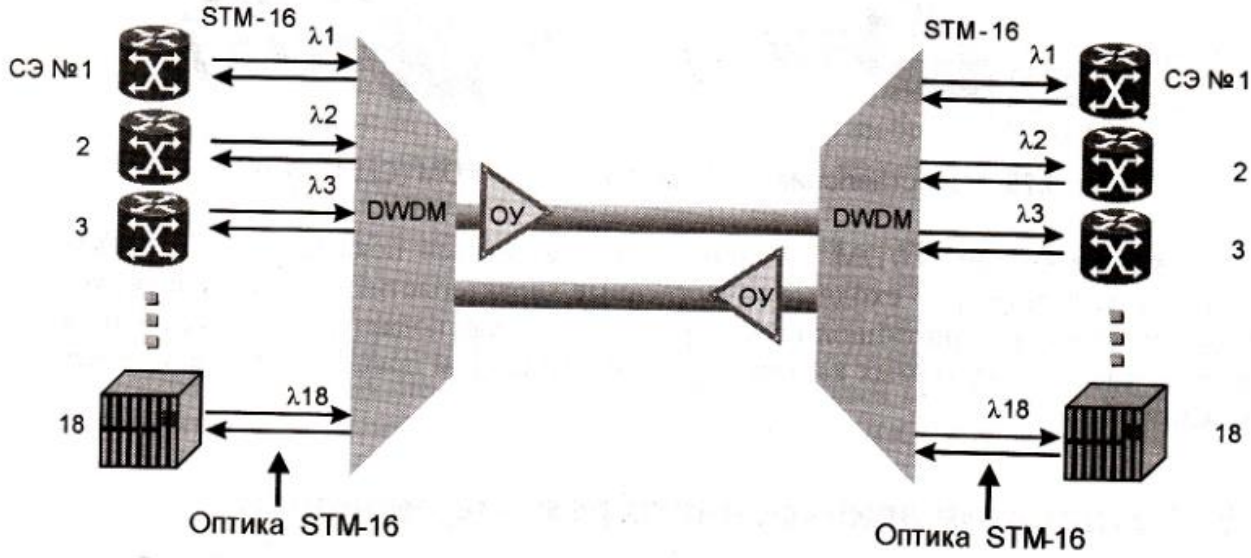


Рисунок 3.23 - Транспондерные системы DWDM в каналах дальней связи с использованием промежуточных усилителей (протяженность свыше 80 км)

Для систем DWDM, предназначенных для работы со стандартными ОВ, суммарная оптическая мощность, вводимая в волокно, ограничивается на уровне 19 дБм из-за возникновения различных нелинейных явлений в ОВ [16, 61]. Эти эффекты не приводят к ухудшению работы относительно низкоскоростных систем СЦИ/SDH (STM-4, STM-16). Однако при использовании систем СЦИ/SDH (STM-64) нелинейные эффекты в оптических волокнах начинают сказываться даже для одноволновых систем передачи.

В зависимости от уровня вводимой оптической мощности, скорости передачи в канале и типа оптического волокна длина участка без промежуточных усилителей для систем DWDM может быть разной. Рекомендация G.692 ITU-T определяет три типа усилительных участков для систем DWDM: L, V, U с длинами 80, 120, 160 км с затуханиями 22, 33, 44 дБ соответственно.

Применение волоконно-оптических усилителей типа EDFA в ВОЛС для DWDM с системами передачи СЦИ/SDH уровня STM-16 (2,4 Гбит/с) позволяет увеличить дальность передачи до 200 км.

Применение промежуточных линейных оптических усилителей позволяет увеличить длину без регенерационных участков в транспортной магистрали до 600 км, при этом число промежуточных оптических усилителей может достигать 1-7 [16].

Из сравнения сетевых технологий TDM (СЦИ/SDH) и DWDM (рисунок 3.24) видно, что TDM аппаратура СЦИ/SDH принимает синхронные и асинхронные сигналы Е1, Е3 и мультиплексирует их в единый сигнал STM-N (N = 1,4,16,...). При этом обеспечиваются взаимная конверсия электрических и оптических сигналов по схеме Е/О или О/Е/О, одна длина волны в ОВ и множество временных каналов в ОВ. В DWDM/ПВМП аппаратура DWDM принимает множество оптических сигналов и мультиплексирует их (по длине волны) в одном ОВ. При этом отсутствует конверсия сигнала, используется множество длин волн и каналов.

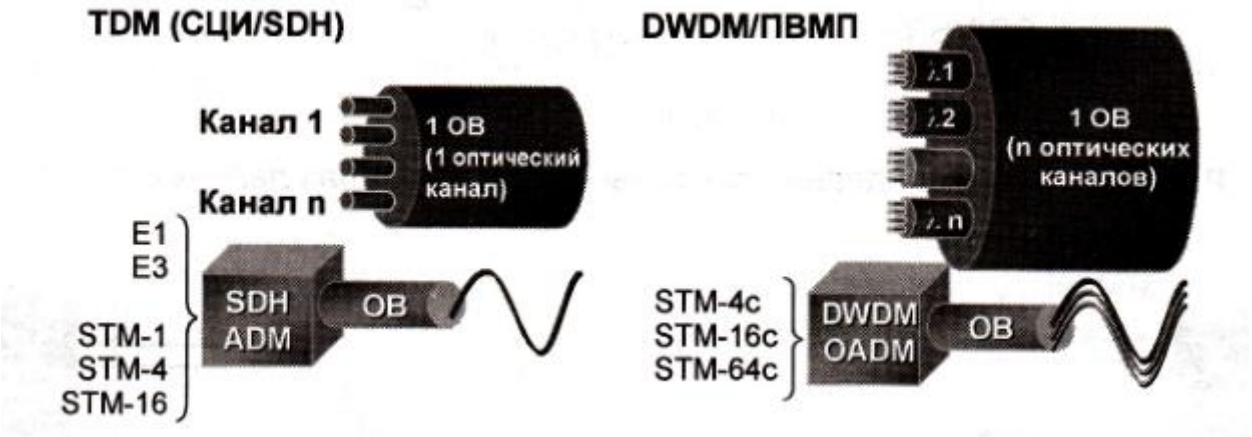


Рисунок 3.24 - Сопоставление сетевых технологий TDM (СЦИ/SDH) и DWDM

Сравнение систем DWDM различных производителей показывает, что практически все они имеют примерно сходные качественные характеристики и одинаковую конфигурацию, строятся по однотипной структурной схеме. Наблюдается общая тенденция наращивания числа уплотняемых каналов при одновременном повышении скорости передачи в каждом из них.

3.6 Технология асинхронного режима передачи

3.6.1 Основы технологии ATM..

В начале 90-х годов развитие современных технологий, успехи в создании ВОЛС, специализированных интегральных микросхем с огромным быстродействием и большой памятью, а также значительное продвижение в области цифровой обработки сигналов привели к разработке нового способа передачи информации, получившего название *асинхронный режим передачи* АРП/ATM (Asynchronous Transfer Mode). В настоящее время это один из наиболее развитых методов передачи интегрированного трафика по единой цифровой транспортной магистрали. Международными организациями по стандартизации подготовлен большой пакет стандартов и руководящих документов, связанных с данной технологией, хотя ее стандартизация полностью еще не окончена.

Данная технология рассчитана на установление связи между пользователями услуг сети. При установлении соединения между узлами (пользователями) сети можно организовать *виртуальные тракты* и *виртуальные каналы* или логические соединения, выполняющие роль звеньев для этих трактов. Осуществляется это с помощью адресной части заголовка передаваемой ячейки ATM. При этом в одном физическом канале связи могут поддерживаться несколько виртуальных соединений. В настоящее время технологии и технике ATM посвящен ряд книг [6, 26, 33, 61] и специальных изданий [4, 41, 42], а также многочисленные журнальные статьи.

Рассмотрим основы технологии ATM применительно к планированию и построению цифровых сетей. Ограничимся наиболее существенными вопросами.

В технологии ATM для передачи информации используют небольшие пакеты фиксированной длины, называемые *ячейками.* Ячейка имеет длину 53 байта, из которых 48 байт отводится под данные, а 5 байт занимает заголовок.

В сетях ATM коммутаторы обеспечивают взаимодействие устройств пользователей и :етей. Эти коммутаторы содержат *таблицы коммутации,* в которые записываются номера портов и идентификаторы соединений, присутствующие в заголовке каждой ячейки. Такая таблица играет основную роль в установлении виртуального соединения. Коммутатор обрабатывает поступающие ячейки, основываясь на идентификаторах данного виртуального соединения в их заголовке. Мультиплексирование является составной частью

технологии ATM, так как множество виртуальных соединений может проходить через один физический канал.

Технология ATM предоставляет методы управления трафиком и механизмы качества обслуживания. Последнее означает, что в сетях ATM могут быть зарезервированы ресурсы, гарантирующие требуемые значения пропускной способности, задержки передачи и уровня потерь. Эти механизмы также основаны на установлении виртуальных соединений. При этом сети ATM поддерживают различные виды трафика (голос, данные, видео и т.д.), но ячейки могут быть переданы от отправителя к получателю в любое время (отсюда - асинхронный режим передачи), а не в определенный временной промежуток, как это происходит для синхронного режима передачи.

В технологии ATM логическая структура не вполне точно соответствует уровням модели BOC/OSI. Ее архитектура позволяет использовать множество функций на уровнях модели ATM. Для согласования уровней ATM и модели BOC/OSI вводят следующие уровни: адаптации ATM - AAL (ATM Adaptation Layer), ATM и физический.

На рисунке 3.25 показана упрощенная схема трех нижних уровней модели ATM, которые относятся к физическому, канальному и сетевому уровням модели BOC/OSI соответственно.

<table>
<tr><td colspan="3">Плоскости</td></tr>
<tr><td>управления</td><td>пользователя</td><td>менеджмента</td></tr>
<tr><td>Служебные функции сигнализации и контроля</td><td>П о л ьзо вате л ьски е приложения</td><td rowspan="4">Управление уровнями</td></tr>
<tr><td>Уровень адаптации ATM, обеспечивающий сигнализацию</td><td>Уровень адаптации ATM для пользователя</td></tr>
<tr><td colspan="2">Уровень ATM</td></tr>
<tr><td colspan="2">Физический уровень</td></tr>
</table>

Рисунок 3.25 – Плоскости уровней трехмерной модели для технологии ATM

Из рисунка видно, что обработка пользовательской информации отделена от обработки служебной. Еще одной характерной чертой технологии ATM является отсутствие четкой границы между уровнями адаптации ATM - AAL и ATM, а некоторые функции уровня адаптации ATM выполняются на уровне ATM.

Архитектура ATM базируется на трехмерной модели B-ISDN, состоящей из трех плоскостей - управления, пользователя и менеджмента. Эти три плоскости связывают уровни: физический, ATM и адаптации ATM с высшими уровнями модели BOC/OSI.

Плоскость управления отвечает за установление, закрытие и отслеживание соединений. Для этого она выполняет функции сигнализации, контроля, адресации и маршрутизации Для создания виртуального соединения необходимо указать адреса отправителя и получателя. Кроме того, должны

быть определены механизмы выбора маршрута, по которому будет осуществляться соединение.

Плоскость пользователя обеспечивает передачу пользовательской информации или полезной нагрузки, которая может представлять собой как данные, так и аудио- или видеоинформацию. Она также обеспечивает защиту пользовательских данных от ошибок, контроль и управление потоком данных и т. д. На высшем уровне плоскости пользователя располагаются все протоколы обмена данными. Эти протоколы не зависят от уровней АТМ и адаптации АТМ.

Плоскость менеджмента обеспечивает совместную работу двух первых плоскостей и выполняет две задачи управления: плоскостями и уровнями. Управление плоскостями позволяет получить единую систему с единым описанием, а управление уровнями обеспечивает предоставление требуемых от отдельных уровней ресурсов в каждом конкретном случае. Система управления уровнями имеет четкие схемы взаимодействия с уровнями физическим, АТМ, адаптации АТМ и высшими. Управление уровнями отвечает за сетевое управление, которое можно разделить на следующие основные функции: восстановление после перегрузки, управление производительностью, конфигурирование, сбор статистики и обеспечение безопасности.

3.6.2 Виртуальные соединения в технологии АТМ.

В технологии АТМ используют два типа соединений: *постоянное виртуальное соединение* PVC (Permanent Virtual Circuit) и *коммутируемое виртуальное соединение* SVC (Switched Virtual Circuit). Оба вида соединений предоставляют различные сервисные и конфигурационные возможности.

Постоянные виртуальные соединения, как правило, устанавливаются вручную и остаются активными довольно долго. *Коммутируемые виртуальные соединения* создаются (по мере возникновения необходимости) в реальном масштабе времени по протоколам сигнализации. Коммутируемое соединение остается активным до тех пор, пока есть данные для передачи по нему. По окончании передачи это соединение должно быть закрыто. Оно может также автоматически завершаться через указанный промежуток времени.

После установления постоянного виртуального соединения для него резервируется определенная часть полосы пропускания сети, так что абонентам не требуется больше выполнять процедуры установления или завершения соединения. При использовании таких соединений повышается управляемость сети, так как сетевой администратор может самостоятельно выбирать путь, по которому будут передаваться данные.

Коммутируемые виртуальные соединения устанавливаются на определенный период времени, используются для передачи необходимых данных, а затем закрываются. Эти операции устанавливаются автоматически по мере необходимости и закрываются после того, как передача данных от пользователя, инициировавшего соединение, завершена. В отличие от

постоянных, коммутируемые виртуальные соединения устанавливаются автоматически сетью АТМ.

К достоинствам коммутируемого виртуального соединения можно отнести гибкость управления сетью, экономное расходование сетевых ресурсов, возможность организации взаимодействия между любыми объектами, расположенными на любых расстояниях и принадлежащих разным организациям.

Первый тип услуг фактически сводится к организации выделенного канала, по крайней мере, на время связи, устанавливаемой на период проведения АТМ-сессии. Второй - основан на типе связи, которая в настоящее время соответствует двум типам соединений *по требованию* и *по запросу.*

Виртуальное соединение - это логический канал между двумя конечными устройствами в сети АТМ, который используется для доставки ячеек. В стандартах, определенных Форумом АТМ, логическое соединение, устанавливаемое между двумя конечными узлами сети \ТМ, называют *соединением по виртуальному каналу* VCC (Virtual Channel Connection) соединение, содержащее один или более виртуальных каналов.

Виртуальный канал VC (Virtual Channel) - это однонаправленное соединение для передачи ячеек, имеющих единый идентификатор. При создании виртуальный канал получает и*дентификатор виртуального канала* VCI (Virtual Channel Identifier), который используется устройством, участвующим в процессе передачи данных, для определения направления коммутации ячеек, принадлежащих данному виртуальному каналу. Другими словами, идентификатор используется коммутаторами АТМ для перенаправления полученных ячеек на определенный порт. При этом в сети АТМ может одновременно работать множество виртуальных соединений. Соединение не определяется единственным виртуальным каналом с одним идентификатором. Оно проходит как бы через цепочку виртуальных каналов (или то звеньев), имеющих разные идентификаторы. Идентификатор изменяется при передаче ячеек от коммутатора к коммутатору. То, как именно он изменяется, определяется по таблицам коммутации, создаваемым на коммутаторах. Данная схема позволяет коммутатору определить, куда слать ячейку после ее получения.

Виртуальный тракт VP (Virtual Path) - это тракт, объединяющий группу однаправленных виртуальных каналов, которые имеют общий идентификатор виртуального тракта. Объединенные виртуальные каналы имеют схожие требования к сети, но могут работать с разными абонентами. Как и виртуальные каналы, виртуальные тракты имеют свой идентификатор, называемый *идентификатором виртуального тракта* VPI (Virtual Path Iden-fiers). Аналогично идентификатору виртуальных каналов идентификатор тракта присваивается ячейкам и используется при их коммутации с одного порта на другой. Рисунок 3.26 иллюстрирует соответствие между виртуальными каналами VC и виртуальными трактами VP.

Для понятия *соединение по виртуальному каналу* используют и такое понятие как *звено виртуального канала* VCL (Virtual Channel Link) [61]. Тогда соединение по виртуальному каналу VCC - это последовательность звеньев виртуальных каналов. Однако, с учетом обей терминологии, принятой в электросвязи [46], рассматриваемое понятие также требует более точного определения.

Соединение по виртуальному каналу имеет следующие характерные свойства:

- создается и закрывается с помощью функций верхних уровней модели ВОС/OSI;
- поддерживает заданное качество обслуживания;
- может быть как коммутируемым, так и постоянным;
- ячейки получаются в порядке их передачи;
- поддерживает двух- и однонаправленные потоки данных;
- резервирует определенные значения VCI для ряда специфичных функций;
- пропускная способность может быть разной для различных направлений передачи.

Промежуток между точками, в которых происходят назначение и преобразование идентификаторов виртуальных трактов, называют *звеном виртуального тракта* VPL (Virtual Path Link). Соответственно, последовательность звеньев виртуальных трактов называют *соединением виртуальных трактов* VPC (Virtual Path Connection).

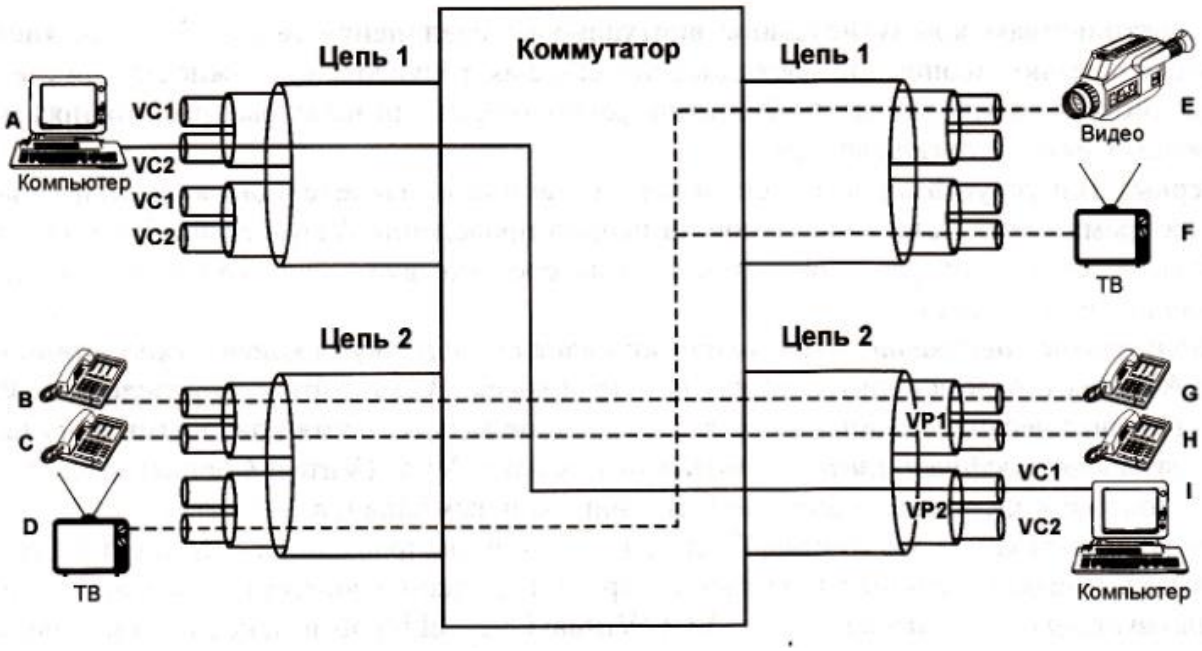


Рисунок 3.26 - Виртуальные каналы и тракты в сети АТМ

Так как существует две иерархические составляющие виртуального соединения - тракт и канал со своими идентификаторами, - то и коммутация

ячеек выполняется на двух уровнях. Первый уровень - это коммутация виртуальных трактов, при которой для них вводится соответствующая таблица. На втором уровне коммутируются виртуальные каналы VC. В дополнение к таблице коммутации виртуальных трактов для каждого порта вводится таблица коммутации виртуальных каналов каждого тракта.

Все пользовательские терминальные окончания имеют идентификаторы, а все пользовательские интерфейсы UNI (User-to-Network Interface) имеют в качестве идентификатора виртуальной цепи два идентификатора: *виртуального тракта* - VPI и *виртуального канала* -VCI, которые содержатся в заголовке ячейки.

Мультиплексирование в АТМ может осуществляется на двух уровнях: нижнем - *мультиплексирование виртуальных каналов* и верхнем — *мультиплексирование виртуальных трактов.* Общее число виртуальных каналов 2^{16} = 65536, число виртуальных трактов -2^{8} = 256, что позволяет сформировать 16777216 виртуальных цепей, проходящих через интерфейс UNI [61]. Возможности существенно расширяются в процессе маршрутизации, если учесть, что существует еще одна степень свободы - *адреса портов,* на которые принимаются и с которых отправляются потоки АТМ ячеек.

3.6.3 Взаимодействие уровней и классы услуг АТМ.

В модели BOC/OSI взаимодействие уровней в технологии АТМ описывается следующими уровнями: *физическим, АТМ и адаптации АТМ* AAL (ATM Adaption Layer). Последний, в свою очередь, разбивается на два подуровня: верхнего - *подуровня конвергенции* CS (Convergence Sublayer) - для обеспечения связи с верхними уровнями модели BOC/OSI и нижнего - *подуровня сегментации и сборки* SAR (Segmentation and Reassembly) - для обеспечения сегментации пакетов верхних уровней на блоки, размещаемые в поле полезной нагрузки ячеек, и сборки пакетов из загруженных ячеек. Рассмотрим механизмы взаимодействия указанных уровней на основе [61].

Верхний уровень AAL (рисунок 3.27) условно разбит на четыре сектора, соответствующие четырем типам обслуживания по *классам* услуг передачи приложений:

а) Класс А - *изохронные,* требующие установления соединения и *постоянной скорости передачи* CBR (Constant Bit Rate) голоса, музыки, видео, мультимедиа;

б) Класс В - *синхронизируемые,* требующие установления соединения и допускающие переменную скорость передачи VBR (Variable Bit Rate) (характерны для передачи упакованных сигналов видео и речи);

в) Класс С - *асинхронные,* требующие установления соединения и допускающие переменную скорость передачи VBR (характерны, например, для сетей с пакетной коммутацией X.25 или Frame Relay);

г) Класс D - *асинхронные,* не требующие установления соединения и допускающие *переменную скорость передачи* VBR (например, для так

называемых дейтаграммных сетей (без установления соединения), к которым относятся ЛВС).

Класс A	Класс B	Класс C	Класс D
CS - AAL CBR	CS - AAL VBR	CS - AAL VBR	CS - AAL VBR
SAR - AAL	SAR - AAL	SAR - AAL	SAR - AAL
Физический уровень (например, E1 или STM-N, N = 1,4, 16,...)			

Рисунок 3.27 - Классы обслуживания в технологии ATM

Нижний подуровень SAR уровня AAL преобразует входные данные в ячейки ATM, т.е. взбивает пакеты, сформированные протоколами верхних уровней модели BOC/OSI, на сегменты (сегментация) и далее формирует из них поток ячеек, скорость которого настраивается верхним подуровнем в зависимости от приложений. Верхний подуровень CS уровня AAL обеспечивает связь с указанными в секторах приложениями, которые либо требуют от ATM постоянной скорости передачи CBR, либо допускают переменную скорость передачи VBR как в режиме с установлением соединения, так и без него. Уровень адаптации ATM – AAL, по сути, является интерфейсом между приложениями пользователя и уровня ATM и обеспечивает поддержку четырех различных групп приложений (рисунок 3.27).

Технология ATM является идеальной средой для мультисервисных сетей, поскольку она изначально создавалась как технология, в равной степени адаптированная для передачи голоса, видео и данных, которые поддерживаются протоколами уровня адаптации ATM -AL) и используются соответственно как информационные потоки особо требовательные, менее требовательные и не очень требовательные к качеству передачи.

Тип *полезной нагрузки* (Payload) пользовательских приложений идентифицируется на подуровне CS (уровня AAL), который определяет состав функций, необходимых для ее обработки. Затем полезная нагрузка разбивается подуровнем SR (уровня AAL) на сегменты обычно длиной в 44-47 байтов) и упаковывается в ячейку ATM с помощью *протокольного канала данных* PDU (Protocol Data Unit) [61]. На уровне ATM к полезной нагрузке присоединяется *заголовок ячейки* CH (Cell Head) длиной 5 байтов и сформированная таким образом байтовая ячейка ATM обрабатывается на физическом уровне. При этом она инкапсулируется (упаковывается) в кадры, например, СЦИ/SDH без изменения структуры и содержания самой ячейки и затем передается в сеть ATM.

Следует отметить, что стандарты ATM полностью не определяют тип обработки полезной нагрузки на верхнем подуровне AAL, если он связан с приложениями, которые могут потребовать специальной обработки (например, выравнивания задержки PDU при передаче речи или сжатия видеоданных). Эта проблема решается самостоятельно производителем оборудования ATM. Во-вторых, все ячейки, сформированные на уровне ATM, обработанные таким

образом на физическом уровне и прошедшие через локальный интерфейс U>, транспортируются в пределах сети АТМ (в пределах интерфейсов сетевых узлов NNI (Nc work Node Interface)) до удаленного интерфейса UNI.

Ячейка АТМ включает в себя 48 байтов *полезной нагрузи* и 5 байтов *заголовка.* Заголовок ячейки АТМ в зависимости от типа интерфейса UNI или NNI, через который производится их передача, имеет различную внутреннюю структуру. На рисунке 3.28 представлена структура заголовка ячейки АТМ для двух основных типов интерфейсов АТМ-коммутаторов: а - UNI (пользователь-сеть) и б - NNI (сеть-сеть). Для интерфейса NNI не требует, общая информация для управления потоком данных, а для интерфейса UNI эта информация существенна. Поэтому в структуре заголовка ячейки АТМ для интерфейса UNI присутствует специальное поле GFC, а для интерфейса NNI - нет.

а) б)

GFC - общее управление потоком данных; VPI - идентификатор виртуального пути; VCI - идентификатор виртуального канала; PT - тип полезной нагрузки; C -флаг допустимости потери ячейки; HEC - код контроля ошибок заголовка.

Рисунок 3.28 – Интерфейсы: а - пользователь-сеть, б- сеть - сеть

3.7 Технологии сети Интернет

Применение IP-технологий в корпоративной сети. Этим проблемам в настоящее время посвящен ряд книг [26, 41, 42]. Остановимся лишь на некоторых аспектах технологии сети Интернет и новых сетевых технологиях: Gigabit Ethernet (GE) и оптический Интернет, представляющих особый интерес.

Широкомасштабное применение IP-технологий - одно из главных стратегических решений при построении современной корпоративной сети. Такой подход связан, по крайней мере, со следующими двумя факторами:

- во-первых, с объективными привлекательными свойствами IP-технологии, заключающимися в ее открытости, способности интегрировать практически любые другие сетевые технологии, отлаженности, надежности и масштабируемости;

- во-вторых, целесообразность применения IP-технологий вытекает из самого факта существования Интернета и той роли, которую играет эта сеть в современном мире.

Вследствие своей универсальности IP-технологии могут быть эффективно использованы в корпоративной сети для построения всех типов связей (или любой ее части) [42]:

- локальных сетей предприятия (уже сегодня 99% всех узлов корпоративных сетей, включая персональные компьютеры, поддерживает протокол IP);
- сетей подразделений через глобальные связи, необходимых для нормальной работы почти любого предприятия (intranet);
- предоставления удаленного доступа своим сотрудникам (intranet);
- организации связей с сетями и сотрудниками предприятий-партнеров (extranet);
- организации связей с клиентами и покупателями (extranet).

Популярность IP-технологии, помимо субъективных, объясняется многими ее объективными достоинствами [42]. Прежде всего, это простота и ясность принципов, положенных в ее основу. Одним из таких принципов является *открытость,* выражающаяся в свободном обсуждении, исследовании и тестировании протоколов стека протоколов TCP/IP, а также в доступности соответствующих стандартов и спецификаций широкому кругу специалистов и простых пользователей. Открытость также подразумевает легкость *интеграции* IP-сеть сетей других технологий.

Именно IP-протокол в сети Интернет играет роль универсального интегрирующего средства, позволяющего объединить в единую глобальную сеть множество сетей самых разнообразных технологий. В корпоративной сети технология IP необходима для объединения отдельных локальных сетей предприятия через Интернет и другие глобальные сети.

При построении ЛВС корпоративных сетей протокол IP также играет важную роль. В крупной корпоративной сети, где применяется технология ATM, обеспечиваются хорошая масштабируемость сети, управление качеством обслуживания, избыточные связи и высокие скорости передачи. На периферии же локальной сети, там, где к ней подключаются большое число конечных пользователей, применение ATM экономически неоправданно. Здесь обычно используют коммутируемые Ethernet и Fast Ethernet. Эти сегменты корпоративной сети объединяются в единое целое на базе протокола IP. В силу универсальности он позволяет интегрировать другие технологии в единую сеть. Даже при использовании очень близких технологий Ethernet/Fast Ethernet/Gigabit Ethernet, казалось бы, не требующих отдельного протокола согласования, на стек TCP/IP возлагаются отсутствующие в семействе Ethernet функции поддержки качества обслуживания и защиты данных [42].

Очень важным достоинством IP-технологии, необходимым для построения всемирной глобальной сети, является *масштабируемость.* Стек протоколов TCP/IP отличается хорошо продуманными решениями,

позволяющими за счет многоуровневого иерархического подхода наращивать сеть в очень больших пределах. Кроме многоуровневого подхода, масштабируемость стека протоколов TCPЯP обеспечивается также отказом от массового применения широковещания как удобного средства выполнения многих задач, например, поиска ресурсов в сети. И наконец, обработанность и отлаженность IP-технологии является еще одним (часто решающим) соображением, принимаемым во внимание при построении транспортной основы для корпоративной сети.

Преодоление недостатков IP-технологий. Однако за время существования стека проколов TCP/IP, особенно в последние годы, когда начался глобальный переход на IP- технологии, выявились слабости и недостатки архитектуры протоколов TCPЯP. Во многих случаях IP-технология не может удовлетворить требованиям новых приложений. Конечно, прежде всего она должна обеспечивать более высокую пропускную способность, однако этого недостаточно. Требуется дополнить IP-технологию средствами управления пропускной способностью, которые бы гарантировали приложениям нужное им качество обслуживания QoS.

Споры идут не о том, станет ли вообще доступна высокая пропускная способность, а с том, какая технология будет ее представлять. В настоящее время семейство высокоскоростных сетевых технологий включает в себя технологии ATM, Gigabit Ethernet, Frame Relay СЦИ/SDH, WDM, и xDSL.

Для предоставления гарантированных сервисов технология IP должна быть существенно модернизирована. Необходимо придать ей большую «интеллектуальность», чтобы сетевые устройства, работающие на ее основе, смогли дифференцировать трафик и предоставлять различные уровни сервиса для различных пользователей и приложений. Другими словами, IP-сетям нужен активный механизм управления пропускной способностью.

Особое место в IP-сетях занимают сегодня приложения IP-телефонии. Желание обеспечивать телефонный сервис через Интернет представляет собой главную движущую силу сближения обычной телефонии и Интернет. По мнению многих специалистов, этот процесс называют самым важным явлением в области телекоммуникаций со времени изобретения телефона. Несмотря на коренное отличие принципов, положенных в основу телефонных и IP-сетей, достаточно качественная передача голоса в IP-сетях при значительной недогруженности сети возможна [42]. Однако эта тема выходит за рамки предмета нашего рассмотрения.

Gigabit Ethernet. В настоящее время Gigabit Ethernet (GE) прочно вошел в перечень базовых сетевых технологий для современных цифровых сетей. Технология GE прошла этап первичной стандартизации и представлена на рынке новейшей аппаратурой - маршрутизаторами/коммутаторами GE, выпускаемыми ведущими производителями ЦСП, и уже находит применение при построении современных высокоскоростных сетей передачи данных.

Интерфейс маршрутизаторов/коммутаторов GE 1000Base-X основывается на стандарте физического уровня Fibre Channel (FC) - технологии

взаимодействия рабочих станций, суперкомпьютеров, устройств хранения и периферийных узлов, имеющей 4-уровневую архитектуру. Два нижних уровня FC-0 (интерфейсы и среда) и FC-1 (кодирование/декодирование) перенесены в GE, что значительно сократило время на разработку оригинального стандарта Gigabit Ethernet. В модели BOC/OSI стандарту GE соответствуют канальный и физический уровни. Детальное рассмотрение технологии, стандартов и характеристик интерфейсов GE можно найти в [70].

Отметим лишь, что интерфейс 1000Base-X подразделяется на три физических интерфейса:

а) 1000Base-SX - оптический интерфейс для многомодовых волокон и излучения с длиной волны 850нм, мощностью -10...0д Бм, при чувствительности и насыщении чувствительности приемника —17 и 0 дБм соответственно;

б) 1000Base-LX - оптический интерфейс для одномодовых и многомодовых волокон и излучения с длиной волны 1300 нм, мощностью -13,5...-3 дБм при чувствительности и насыщении приемника -19 и - 3 дБм соответственно;

в) 1000Base-CX - электрический интерфейс для экранированной витой пары STP 5-й категории на короткие расстояния.

В настоящее время определены предварительные спецификации нового стандарта 10G Ethernet (10 Гбит/с). Таким образом, стандарт Ethernet с масштабируемой иерархией 10/100/1000/... становится мощной сетевой технологией, конкурирующей с технологией ATM на уровне сетей как корпоративных, так и магистральных.

На рис. 3.29 и 3.30 представлены применения аппаратуры GE и DWDM в корпоративных магистралях и оптических сетях.

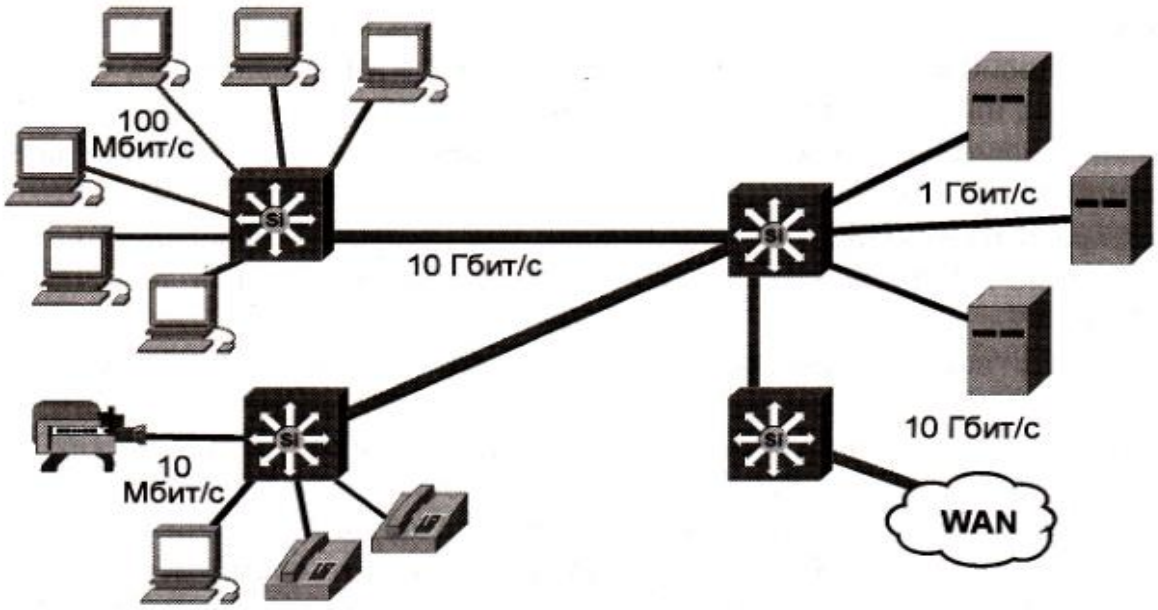


Рисунок 3.29 - Применение маршрутизаторов GE в корпоративных магистралях

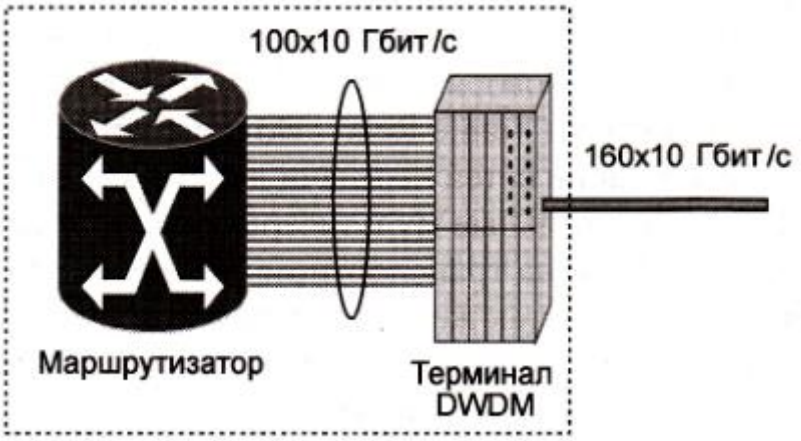


Рисунок 3.30 - Применение маршрутизаторов и аппаратуры DWDM в оптических сетях

Оптический Интернет. Несмотря на то, что стандартизация оптического Интернет находится на начальном уровне, в последнее время его технология обсуждается как одна из наиболее перспективных для оптических сетей. Именно полностью оптические технологии (рисунок 3.30) позволяют перейти на качественно новый уровень построения сетей будущего со скоростями передачи от 1...2 Тбит/с и выше.

3.8 Интеграция сетевых технологий в цифровых сетях

Выбор оптимальной технологии для построения широкополосных мультисервисных сетей в настоящее время опирается на процессы интеграции и конвергенции сетевых технологий при создании современных сетей. Общей технологической основой конвергентных сетей являются универсальные среды, передающие цифровые потоки с любой мультимедийной информацией, и специальные транспортные протоколы, позволяющие их передавать с заданными скоростью и качеством.

Необходимо четко осознавать, каким образом строить универсальную мультисервисную сеть для предоставления новых услуг, и какие требования к ней предъявлять. При построении сетей, следует иметь в виду, что новые услуги все чаще являются суперпозицией традиционных услуг телефонии, видео и передачи данных и соответственно требуют универсальных, приспособленных к таким услугам сетей. Универсальность сети заключается-прежде всего в том, на что такая сеть должна быть способна:

- быть адаптированной для всех необходимых протоколов и передачи всех типов информационных потоков;
- поддерживать необходимый уровень качества передачи информационных потоков возможностью контроля и гарантий этого качества от абонента до точки предоставления услуги;
- удовлетворять всем требованиям безопасности при пользовании услугами данного типа.

Таким образом, современная сеть (даже если она планируется только как сеть передач данных) должна строиться с учетом обеспечения необходимого качества передачи и без опасности информационных потоков, что требует, как правило, значительных инвестиции При этом построенная таким образом сеть должна обладать всеми необходимыми качествами для того, чтобы стать универсальной, и, соответственно, должны быть возможности для ее использования и для передачи альтернативных типов информационных потоков (голоса и видео). Как же строить такую сеть?

Опыт создания сетей показывает, что локальные сети строят преимущественно с использованием Ethernet, а глобальные, магистральные, несмотря на отдельные попытки использования протокола PPP (о них часто и говорят как о чисто IP-сетях), к середине 90-х гг. стал строить с использованием технологии Frame Relay. Позже, к концу 90 гг., с развитием технологии ATM повсеместно при создании сетей передачи данных перешли на технологию ATM.

Практически все новые магистральные мультисервисные и IP сети, создаваемые сейчас, также используют технологию ATM на транспортном уровне. Поэтому противопоставление «ATM или 1P» является неуместным так же, как в недалеком прошлом противопоставление телефонии и технологии СЦИ/SDH, которые сегодня, как известно, сосуществуют вместе. Почему не строятся «чисто 1P» сети? Потому что IP - это протокол без установления соединения, возможности контроля качества (скорости, задержек, вариаций задержек) и безопасности этого соединения. Эти качества обеспечивают протоколы транспортного уровня технологии ATM. Технология ATM является идеальной средой для мультисервисных сетей поскольку она изначально создавалась как технология, адаптированная в равной степени: для передачи голоса, видео и данных, которые сегодня рассматриваются и используются соответственно как информационные потоки особо требовательные, менее требовательные и не очень требовательные к качеству передачи.

В настоящее время ATM является технологией, на основе которой конвертируются и интегрируются сетевые технологии и которая позволяет создавать мультисервисные операторские сети. Она стандартизована и основана на протоколах, обеспечивающих установление соединения между пользователями сети, обладает встроенными средствами контроля качества возможностью интеграции с традиционной телефонией (системами TDM), встроенными средствами защиты безопасности сети, поддержкой всех типов услуг и уровня качества.

Не случайно многие новые технологии, ориентированные на предоставление в первую очередь IP-услуг, основаны на технологии ATM. Одним из примеров является технология ADSL, для которой ATM выбрана в качестве единственного стандарта. Однако технологии ATM, обладая всеми необходимыми достоинствами с точки зрения качественной передачи всех типов информационных потоков, включая IP, изначально разрабатывалась без серьезного учета особенностей IP-трафика. А именно: ATM в своем

стандартном варианте требует значительных усилий по установке соединений между граничными устройствами доступа к магистральной сети.

Несколько лет назад сети ряда операторов достигли таких размеров, что вопрос их масштабирования встал довольно серьезно. Это и стало причиной начала работ по разработке протокола MPLS (компания Lucent и др.). Основной задачей была, прежде всего, разработка процедур автоматизации установления соединений в сети ATM в соответствии с маршрутами IP-трафика. При большом числе узлов это облегчает управление и повышает масштабируемость сети. Таким образом, протокол MPLS (называемый протоколом MPLS/ATM) сложно использовать в сетях ATM для передачи данных IP и других протоколов сетевого уровня. Остальные виды информационных потоков (голоса, видео, Frame Relay и др.) передаются традиционным образом с использованием встроенных средств технологии ATM.

Другой путь (компания Cisco) - обеспечить хорошую передачу трафика IP по сетям, где в качестве протоколов второго уровня используется протокол PPP. Поскольку протокол PPP сам по себе не имеет никаких средств контроля качества, это потребовало больших усилий, в частности, протокол MPLS/PPP должен решать функции установления и контроля качества соединений и т.д. Таким образом, начавшись с двух противоположных направлений, работы над созданием протокола MPLS объединились.

Во-первых, требуется стандартизация уже существующих реализаций протоколов TLS/ATM, MPLS/FR и MPLS/PPP. Во - вторых, начаты работы над спецификациями MPLS/Ethernet. В-третьих, требуется стандартизация методов взаимодействия всех методов инкапсуляции меток MPLS. Предполагается, что протокол MPLS будет универсальным, и его стандартизация может затянуться еще на несколько лет. Рассматривая перспективы применения протокола MPLS в современных сетях, необходимо отметить, что протокол MPLS/ATM можно успешно применять уже сегодня, при этом химизируются возможности для передачи IP-трафика. Одновременно обеспечивается качественная передача других видов информационных потоков - голоса, видео с использованием стандартных функций технологии ATM.

Таким образом, независимо от того, как будет принят протокол MPLS телекоммуникационным сообществом после завершения его стандартизации, в настоящее время наиболее близким по функциональным свойствам к нему является технология ATM. Путем небольших изменений и дополнений в программном обеспечении ATM-коммутаторы становятся PLS-коммутаторами. При этом протоколы MPLS/ATM и ATM могут работать в ATM-коммутаторах одновременно (во всяком случае, так это реализовано в коммутаторах _ .cent). Поэтому все проблемы передачи альтернативных информационных потоков (голоса, видео и др.), которые сегодня в протоколе MPLS еще не определены, решаются средствами технологии ATM, а функциональность протокола MPLS позволяет использовать его автоматизации установления соединений при передаче трафика IP и других протоколов левого уровня. Таким образом, в настоящее время, как и на ближайшие годы, оптимальным вариантом выбора

транспортной среды для построения мультисервисной сети оператора (в том числе и сети IP) является технология ATM, возможно, в сочетании с протоколом MPLS/ATM. Именно по этому пути идут ведущие производители аппаратуры для современных мультисервисных сетей.

4 Топология транспортных цифровых сетей связи

4.1 Элементы и топология сети

Общие сведения. В состав сети СЦИ/SDH обычно входят несколько типовых устройств аппаратуры ЦСП СЦИ/SDH - *сетевых элементов* (СЭ/NE) (Network Element). Это - *терминальные мультиплексоры* (ТМ) (Terminal Multiplexer), *мультиплексоры ввода/вывода* МВВ/ADM) (Add/Drop Multiplexer), *регенераторы* (РГ/Reg) (Regenerator) и *цифровые системы кросс-коммутации* DXCS (Digital Cross-Connect System).

Рассмотрим аппаратуру ЦСП СЦИ/SDH с точки зрения ее применения в качестве СЭ для построения топологии транспортных сетей.

Мультиплексоры СЦИ/SDH в отличие от обычных мультиплексоров, используемых, например, в сетях ПЦИ/PDH, выполняют функции как собственно мультиплексора, так и устройств терминального доступа, обеспечивая подключение низкоскоростных каналов ЛЦИ/PDH непосредственно к своим *пользовательским интерфейсам* или *входным портам.* Мультиплексоры СЦИ/SDH универсальные и гибкие устройства, позволяющие решать практически все перечисленные выше задачи, т.е. кроме мультиплексирования, выполнять еще и задачи коммутации, концентрации и регенерации. Это оказывается возможным в силу модульной их конструкции, при которой выполняемые функции определяются лишь возможностями системы управления и составом модулей, входящих в состав мультиплексора.

Терминальный мультиплексор (ТМ) является мультиплексором и оконечным устройством сети СЦИ/SDH с интерфейсами доступа, соответствующими входным каналам ЛЦИ/PDH и СЦИ/SDH. Два терминальных мультиплексора можно использовать для организации линии связи между СЭ типа «точка-точка» (рисунок 4.1).

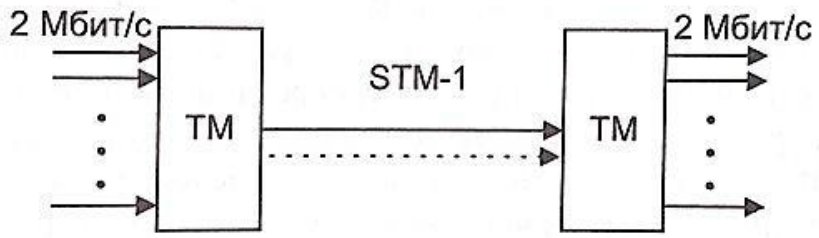


Рисунок 4.1 - Схема включения терминальных мультиплексоров в линии связи «точка-точка»

Терминальный мультиплексор позволяет или *вводить каналы (полезную нагрузку),* т.с коммутировать их с входа пользовательского интерфейса на линейный выход (под которыми понимается выход в линию связи), или наоборот, *выводить* эти *каналы,* т.е. также коммутировать их, но с линейного входа и на выход пользовательского интерфейса. Он позволяет также *локально*

коммутировать сигналы нагрузки с одного пользовательского интерфейса: на выход другого. Такая коммутация, как правило, ограничена сигналами полезной нагрузки уровня Е1 (2 Мбит/с).

Для мультиплексора СЦИ/SDH уровня STM-1 сигналы полезной нагрузки являются «электрическими», т.е. использующими электрический сигнал для передачи данных. Дл = ТМ уровня STM-4 (который иногда называют *линейным терминалом STM-4)* полный набор каналов доступа может включать каналы полезной нагрузки ПЦИ/PDH Е1, Е3, Е4 (2, 3-140 Мбит/с) и канал STM-1 СЦИ/SDH (155 Мбит/с). Если сигналы полезной нагрузки ПЦИ/PDH электрические, то сигналы полезной нагрузки СЦИ/SDH (STM-1) могут быть как электрическими, так и оптическими (рисунок 4.2).

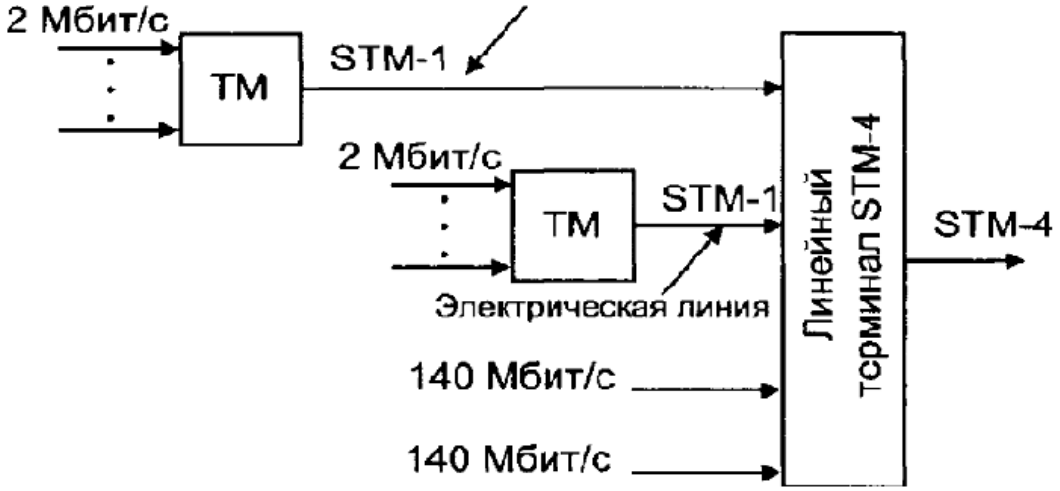


Рисунок 4.2 - Схема включения линейного терминала уровня STM-4

Конкретный мультиплексор может и не иметь полного набора пользовательских интерфейсов в качестве каналов доступа. Это определяется не только требованиями заказчика, но и возможностями компании-производителя аппаратуры СЦИ/SDH.

Другой важной особенностью мультиплексоров СЦИ/SDH является наличие не менее двух оптических линейных интерфейсов приема/передачи (для каналов приема/передачи), называемых *агрегатными портами* и используемых для обеспечения режима стопроцентного резервирования или защиты по схеме 1+1 с целью повышения надежности (рисунок 4.1 пунктир). Эти порты (в зависимости от топологии сети) можно назвать *основными* и *резервными* (линейная топология) или *восточными и западными* (кольцевая топология). Применительно к сетям СЦИ/SDH последние термины используются достаточно широко для указания двух противоположных путей распространения сигнала в кольцевой топологии: западный - по кольцу влево, восточный - по кольцу вправо. Они не обязательно являются синонимами терминов «основной» и «резервный». Если резервирование не используется (так называемый незащищенный режим), достаточно только одного порта

(одного канала приема/передачи). Резервирование 1+1 является внутренней особенностью сетей СЦИ/SDH и не имеет ничего общего с *внешним резервированием,* когда используется альтернативный (резервный) путь от одного узла сети к другому, как это делается в *ячеистой сети* СЦИ/SDH, работающей в незащищенном режиме.

Мультиплексор ввода/вывода (МВВ/ADM) может иметь на входе тот же набор сигналов полезной нагрузки, что и у терминального мультиплексора. Он позволяет вводить/выводить каналы и тем самым перераспределять потоки (контейнеры VC) к соответствующему мультиплексору в сети (рисунок 4.3).

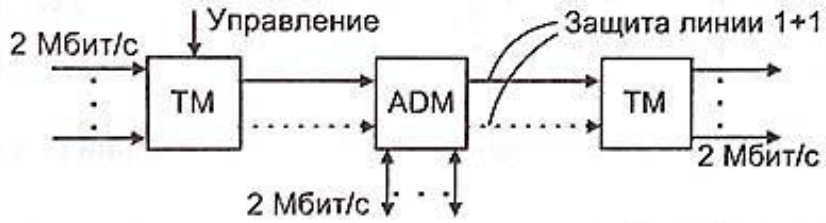


Рисунок 4.3 - Схема включения мультиплексора ввода/вывода в линию передачи

Процесс распределения потоков в МВВ/ADM управляется сигналами, для которых предусмотрен канал управления в структуре кадра STM-1. Дополнительно к возможностям коммутации, обеспечиваемыми мультиплексорами типа ТМ, мультиплексор МВВ/ADM позволяет осуществлять сквозную коммутацию выходных потоков в обоих направлениях (например, на уровне контейнеров VC-4 для линейных или агрегатных портов, т.е. оптических каналов приема/передачи), а также замыкать канал приема на канал передачи на обеих сторонах («восточной» и «западной») в случае выхода из строя линии одного из направлений. Наконец, он позволяет (в случае аварийного выхода из строя мультиплексора) пропускать основной оптический поток мимо него в обходном режиме. Это позволяет использовать МВВ/ADM в сети с топологией типа кольца в качестве основного СЭ (рисунок 4.4).

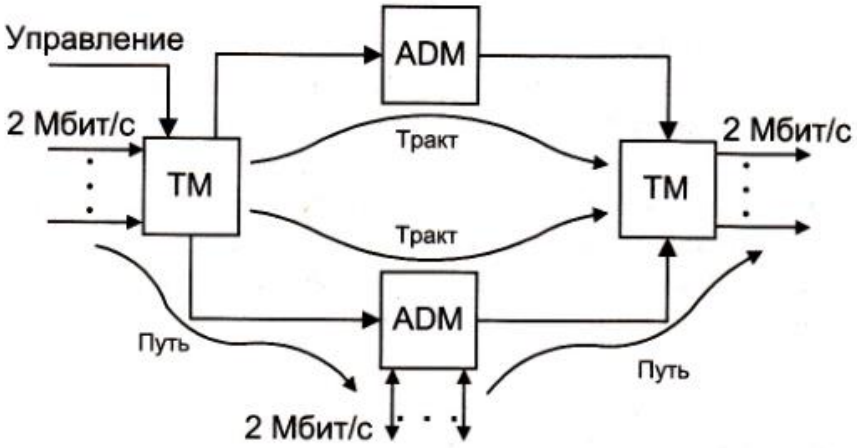


Рисунок 4.4 - Схема включения мультиплексора МВВ/ADM в сети с топологией кольцо

Регенератор представляет собой вырожденный случай мультиплексора, имеющего один входной агрегатный порт, как правило, для оптического сигнала нагрузки STM-N, и один или два (при использовании схемы 1+1) выходных агрегатных порта (рисунок 4.5). Регенератор используют для увеличения допустимого расстояния между узлами сети СЦИ/SDH путем регенерации сигналов полезной нагрузки. Обычно это расстояние (учитывая практику применения ОК с одномодовыми волокнами) составляет 15...50 и 80...100 км для длин волн 1300 и 1500нм, а при использовании оптических усилителей оно может достигать 50...200 км. Более точно это расстояние определяется отношением допустимых для регенераторного участка суммарных потерь к линейным потерям в ОК.

Регенераторы имеют доступ к сигналу только через регенераторную секцию RSOH секционного заголовка SOH сигнала STM-1 или STM-4.

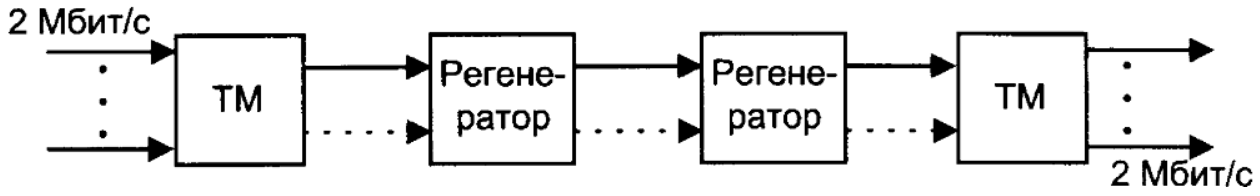


Рисунок 4.5 - Схема включения регенераторов в линии связи

Концентратор (называемый еще «хаб» (hub)) используется в топологических схемам типа «звезда» и представляет собой мультиплексор, объединяющий несколько, как правило, однотипных (со стороны входных портов) потоков, поступающих от удаленных узлов (СЭ в один *распределительный узел* сети СЦИ/SDH, не обязательно удаленный, но связанный основной транспортной сетью.

Концентратор может иметь также не два, а три, четыре или больше линейных интерфейса уровня STM-N или STM-(N-1) и позволяет организовать *ответвление* от основного потока или кольца СЦИ/SDH (или наоборот - подключение) двух внешних ветвей к основному потоку или кольцу или, наконец, подключение нескольких узлов (СЭ) ячеистой сети > кольцу СЦИ/SDH. В общем случае он позволяет уменьшить общее число каналов, подключенных непосредственно к основной транспортной сети СЦИ/SDH. Мультиплексор - концентратор распределительного узла позволяет локально коммутировать подключенные к нему каналы, осуществлять обмен между удаленными СЭ через концентратор.

Кросс-коммутатор. В некоторых узлах сети СЦИ/SDH требуется выполнять только функции перераспределения цифровых потоков - *кросс-коммутации (кросс-соединении* Для этого предназначены специальные устройства - *цифровые системы кросс-коммутация* DXCS (Digital Cross-

Connect System). Роль такого устройства может выполнять мультиплексор MBB/ADM.

Подавляющее большинство современных мультиплексоров MBB/ADM строят по модульному принципу. Среди этих модулей центральное место занимает *кросс-коммутатор* или просто *коммутатор.* В синхронной сети он позволяет установить связи между различными каналами, относящиеся к определенным пользователям, путем организации полупостоянной (временной) перекрестной связи, или *кросс-коммутации,* между ними. Возможность такой связи позволяет осуществить *маршрутизацию в* сети СЦИ/SDH на уровне виртуальных контейнеров VC-n (рисунки 4.2, 4.3), управляемую сетевым менеджером (системой управления) в соответствии с заданной конфигурацией сети.

Возможности внутренней коммутации каналов заложены в мультиплексоре MBB/ADY СЦИ/SDH, что позволяет говорить о нем как о *внутреннем* или *локальном коммутаторе*. Менеджер полезной нагрузки позволяет динамически изменять логическое соответствие между нагрузочным модулем TU и каналом доступа (интерфейсом сигнала нагрузки), что равносильно *внутренней коммутации каналов.* Кроме этого, мультиплексор MBB/ADM позволяет также коммутировать собственные каналы доступа, что равносильно локальной *коммутации каналов.*

В сети СЦИ/SDH применяют специальные *цифровые системы кросс-коммутации* DXCS. Системы DXCS позволяют осуществлять не только локальную, но и *сквозную коммутации* высокоскоростных потоков (34 Мбит/с и выше) и синхронных транспортных модулей STM-K. Важной особенностью таких систем кросс-коммутации является *отсутствие блокировки* других каналов при коммутации, когда коммутация входных каналов (одних групп TU) не накладывает ограничений на процесс обработки других каналов (групп TU). Такую коммутацию называют *неблокирующей*.

4.2 Базовые сетевые топологии и их интеграция в транспортной сети

Базовые конфигурации топологии сетей СЦИ/SDH. В настоящее время оборудование ЦСП СЦИ/SDH выпускают в виде мультиплексоров MBB/ADM. В зависимости от их комплектации они могут быть использованы для следующих применений в сети: организации соединения СЭ по схеме «точка-точка», в качестве регенератора, для ввода-вывода потоков нагрузки в линию, ввода-вывода потоков нагрузки в кольцо, а также в качестве локального кросс-коммутатора. На рисунке 4.6 показаны элементарные базовые конфигурации топологии сетей СЦИ/SDH, обеспечивающие соединение СЭ в сети по схеме «точка-точка», линейная цепь, кольцо однонаправленных коммутируемых каналов, 2- и 4-волоконные двунаправленные кольца.

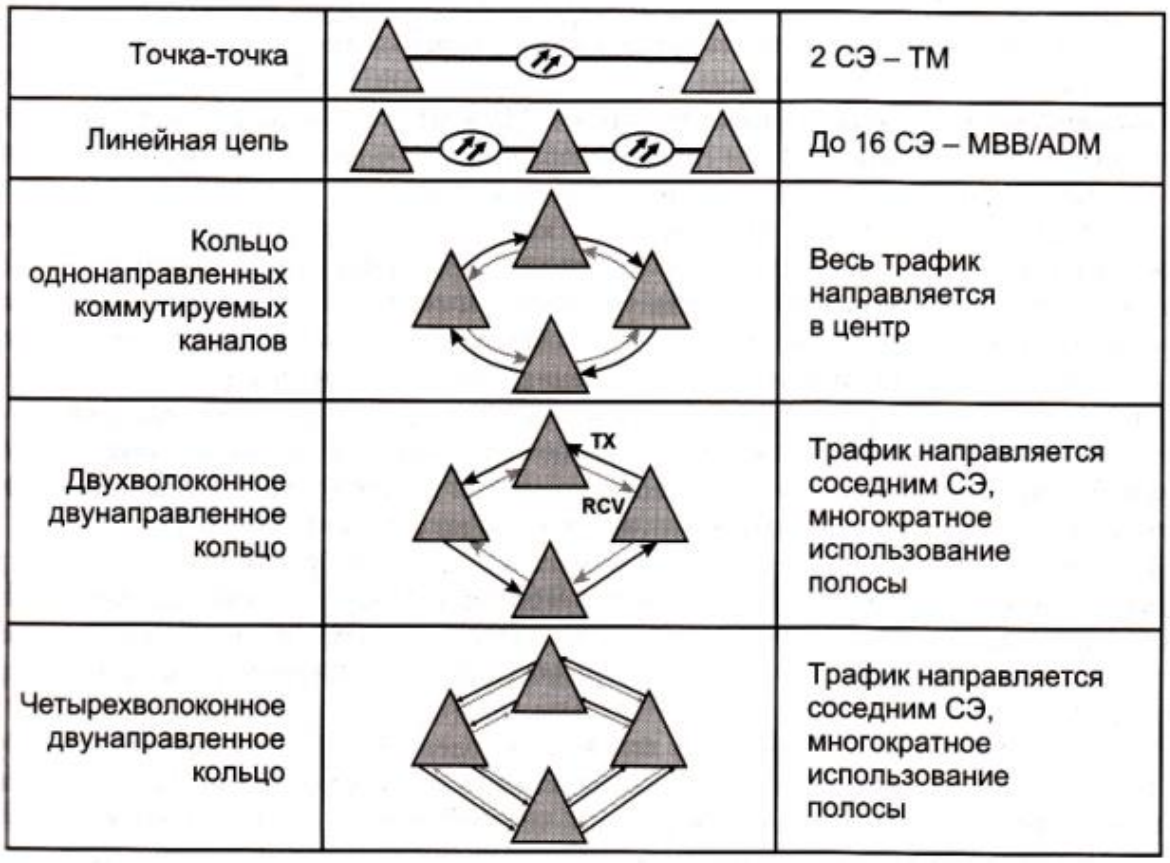
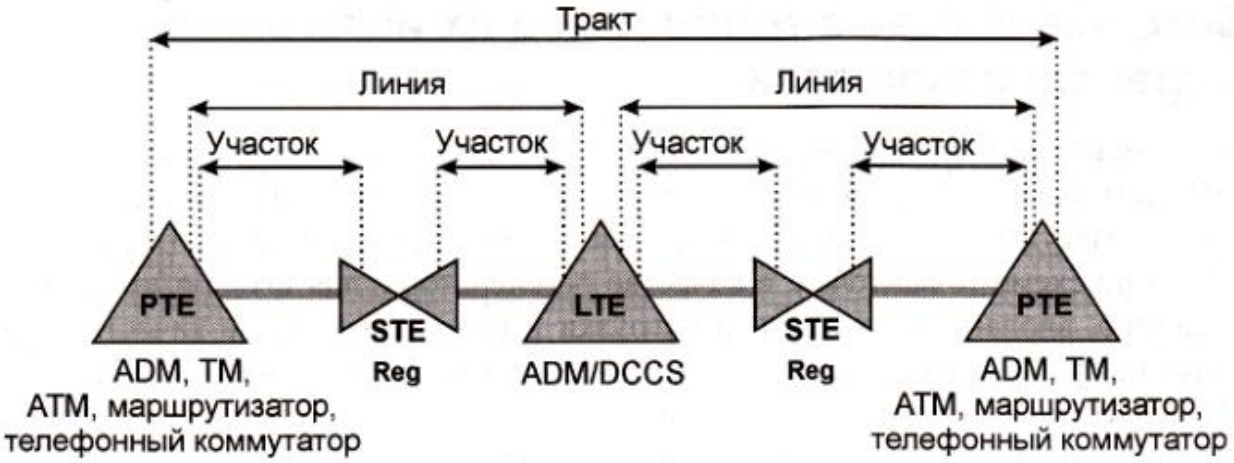


Рисунок 4.6 - Базовые конфигурации топологии сетей СЦИ/SDH и их характеристики

Обычно типовая структура системы СЦИ/SDH на уровне топологии сети может быть представлена в виде совокупности мультиплексорных и регенерационных участков (секций) (рисунок 4.7). Систему передачи от мультиплексора сборки виртуальных контейнеров 3K/VC) (Virtual Container) до мультиплексора его разборки и вывода нагрузки рассматривают обычно как *тракт* [46, 78]. В состав тракта входят мультиплексоры MBB/ADM, образующие мультиплексорные участки, регенераторы и коммутаторы DCCS, образующие регенерационные участки сети (рисунок 4.7). Такое разделение тракта на участки нашло отражение в формате заголовков кадров СЦИ/SDH, которые используются в процессе формирования синхронных транспортных модулей STM-N.



LTE – оконечное оборудование линии; PTE - оконечное оборудование тракта; STE - оконечное оборудование участка; ADM – мультиплексор ввода/вывода; DCCS – цифровая система кросс-коммутации; TM – терминальный мультиплексор; Reg – регенератор.

Рисунок 4.7 - Типовая структура тракта в сети СЦИ/SDH

Элементарные базовые топологии сетей СЦИ/SDH. Рассмотрим элементарные базе вые топологии сетей СЦИ/SDH или сетевые шаблоны и особенности их выбора при планировании и разработке топологии реальных транспортных сетей СЦИ/SDH [26, 61] Такое планирование включает ряд этапов, на каждом из которых решается та или иная функциональная задача в соответствии с заданием на проектирование конкретной сети. При разработке топологии транспортной сети учитывают и согласованно рассматривают выбор базовых топологий (сетевых шаблонов), оборудования узлов сети в соответствии с заданной топологией всей сети, построения сети управления, синхронизации и т.п.

Разработка или выбор топологии транспортной сети - основной этап планирования. Для облегчения планирования на практике применяют набор *элементарных базовых топологии сети* или *сетевых шаблонов,* на основе которых можно построить топологию сети в целом. Рассмотрим подробнее элементарные базовые топологии сети и их особенности.

Топология «точка-точка» - простейший сетевой шаблон. Эту топологию можно реализовать с помощью терминальных мультиплексоров TM как без резервирования канал приема/передачи, так и со 100%-лым резервированием по схеме типа 1 + 1, использующее основной и резервный электрический или оптический *агрегатные выходы* (каналы приема/передачи).

Несмотря на простоту, именно эту базовую топологию наиболее широко используют при организации высокоскоростных магистральных каналов, а как составная часть, в виде радиусов кольцевой сети радиально-кольцевой топологии больших сетей она является основой для топологии типа «линейная цепь». С другой стороны, базовую топологию «точка-точка» с резервированием

можно рассматривать как вырожденный случай топологии «кольца» (плоское кольцо).

Топология «линейная цепь». Эту топологию применяют, когда плотность потока трафика в сети не очень велика, и необходимо организовать ввод и вывод цифровых каналов (каналов доступа) в ряде СЭ на линии. Для этого в качестве СЭ используют мультиплексоры MBB/ADM внутри и ТМ на обоих концах линейной цепи. Она может быть реализована в виде либо простой линейной цепи без резервирования, либо более сложной цепи с резервированием типа 1+1 (так называемое уплощенное кольцо [61]).

Топология «звезда» реализует функцию концентратора, для чего требуется в качестве СЭ мультиплексор типа MBB/ADM. Применение этой топологии оправдано, когда один из удаленных узлов сети или СЭ, связанный с центром коммутации (например, цифровой АТС) или узлом кольцевой сети СЦИ/SDH, выполняет функции концентратора (или хаба). При этом на СЭ часть трафика можно вывести через каналы доступа на терминалы пользователей, тогда как оставшуюся его часть необходимо распределить между другими удаленными СЭ.

Топология «кольцо» широко используется для построения сетей СЦИ/SDH различных уровней иерархии, начиная с STM-1. Она позволяет реализовать все основные преимущества технологии СЦИ/SDH, включая возможность организовать резервирование трактов и каналов в сети. Для этого в мультиплексорах СЦИ/SDH предусматриваются две или четыре лары (основные и резервные) оптических агрегатных интерфейсов передачи/приема (каналов приема/передачи) для организации 2-х или 4-х волоконных двунаправленных колец со встречными потоками (рисунок 4.6). Такая топология позволяет реализовать все основные схемы резервирования в сети СЦИ/SDH и обеспечить многократное использование полосы пропускания в транспортных магистралях сети.

Топология «ячеистая сеть». Рассмотренные выше элементарные базовые топологии широко применяются для построения магистральных транспортных сетей СЦИ/SDH. Большинство традиционных телефонных сетей общего пользования, использующих узлы коммутации, построено на основе топологии смешанной сети, в которой можно выделить базовую *топологию ячеистой сети,* которая представляет собой структуру, составленную из замкнутых ячеек или контуров или технологических колец.

Существенным отличием ячеистой топологии от кольцевой является то, что плотность потока трафика в различных звеньях, соединяющих СЭ, может быть разной. При этом замкнутый контур ячейки формирует *технологическое кольцо* с разной плотностью потока графика в различных его звеньях.

Характерная особенность ячеистой топологии - возможность расширения сети путем наращивания однотипных ячеек без потери ее топологической однородности. Таким свойством обладают все сети, использующие перечисленные выше ячейки. Более того, указанные ячейки позволяют строить

такие сети, в которых базовые ячейки могут сопрягаться: друг с другом только двумя узлами.

Топология реальных сетей СЦИ/SDH. Архитектурно-топологические решения при планировании организации и/или проектировании сети СЦИ/SDH можно определить на основе применения рассмотренных выше элементарных базовых топологий - сетевых шаблонов в качестве ее отдельных структурных сегментов или их комбинаций. Рассмотрим некоторые применения базовых сетевых шаблонов для построения топологии реальных сетей СЦИ/SDH на основе различных их комбинаций.

Радиально-кольцевая топология сети. На практике наиболее часто применяют комбинацию *кольцевой* и *линейной элементарных базовых топологий,* в которой линейная топология образует радиусы в кольце или служит их продолжениями за его пределами.

В *радиально-кольцевой топологии* сети СЦИ/SDH (рисунок 4.8) в простейшем случае вместо линейной цепи в радиальном сегменте может быть использована и топология типа точка-точка». Число радиальных ветвей в сети ограничивается только, исходя из распределения допустимой полезной нагрузки (общего числа каналов доступа) между отдельными СЭ - мультиплексорами доступа MBB/ADM, установленными в кольце.

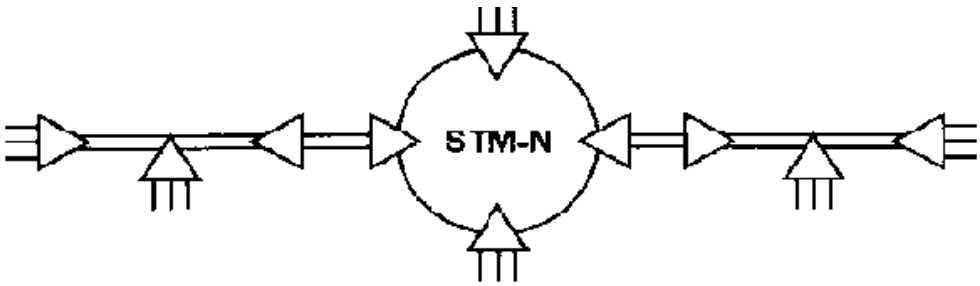


Рисунок 4.8 - Радиально-кольцевая топология сети СЦИ/ SDH

Топология типа «кольцо-кольцо» - другая, часто применяемая на практике топологии сети СЦИ/SDH. Уровни иерархии ЦСП СЦИ/SDH (STM-N) для СЭ в кольцах для рассматриваемой топологии могут либо быть одинаковыми, либо различаться. В топологии сети в виде двух колец одного уровня (STM-4), соединяемых (рисунок 4.9) между собой с помощью каналов доступа через пользовательские интерфейсы уровня STM-1 или N×El, последние могут быть как электрическими (для обоих типов каналов доступа), так и оптическими (для уровня STM-1).

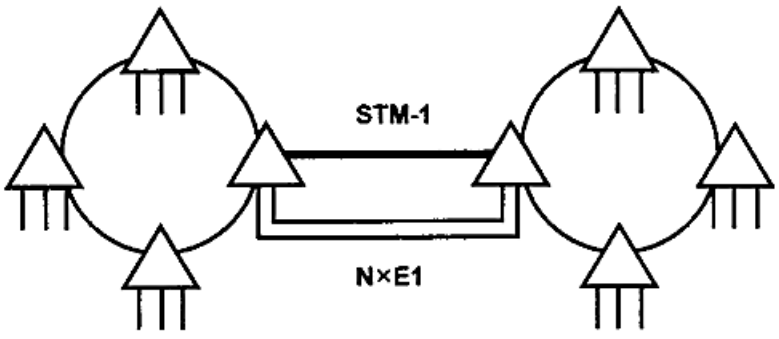


Рисунок 4.9 - Топология сети с двумя кольцами одинакового уровня СЦИ/SDH

Возможны варианты топологии сети с каскадным соединением колец разного уровня STM-N (N = 1, 4, 16) для различных сегментов сети, примеры которых даны в [61]. При таком соединении в качестве оптических пользовательских интерфейсов можно использовать агрегатные порты МВВ/ADM более низкого уровня иерархии. Варианты построения топологии на основе сетевых шаблонов типа колец разного уровня иерархии будут рассмотрены далее в связи с обсуждением новых возможностей аппаратуры ЦСП СЦИ/SDH и применением новых сетевых шаблонов [77].

4.3 Резервирование каналов и трактов

Магистральные мультиплексоры ведущих производителей аппаратуры ЦСП СЦИ/SDH обычно имеют все основные механизмы резервирования линий и трактов и аппаратное резервирование основных жизненно важных блоков, включая отдельные блоки с пользовательскими интерфейсами. Аппаратура ЦСП СЦИ/SDH большинства производителей предусматривает следующие основные механизмы резервирования [61, 82]:

а) SNCP (SubNetwork Connection Protection) - 2-х волоконное однонаправленное самовосстанавливающееся кольцо;

б) MS-SPRing (Multiplex Section Shared Protection Ring) - 2-х или 4-х волоконные двунаправленные кольца с совместным резервированием мультиплексорных секций;

в) MSP (Multiplex Section Protection) - для мультиплексорной секции;

г) DNI (Digital Network Interface) - для соединений СЭ/NE к системе кросс-коммутации DXCS.

Поэтому сети (и системы) СЦИ/SDH обычно называют *самовосстанавливающимися сетями.*

Аппаратура ЦСП СЦИ/SDH позволяет обеспечить как аппаратное резервирование, так и резервирование линий и трактов по схемам 1+1 и 1:1 (или 1:N). Схеме резервирования 1+1 соответствует режим 100%-го резервирования с одновременным использованием основного и резервного блоков в СЭ/NE или сигналов в сети, схеме резервирования 1:1 (или 1:N) - тот же режим 100%-го резервирования, но с использованием одного резервного блока (или сигнала) на один основной (или N блоков) в СЭ/NE.

Различные методы обеспечения быстрого восстановления работоспособности синхронных сетей можно свести к следующим методам и схемам резервирования [61]:

1) резервирование участков сети по схемам 1+1 и 1:1 по разнесенным трассам;

2) организация самовосстанавливающихся кольцевых и линейных сетей с резервированием по схемам 1+1, 1:1 и 1:N;

3) резервирование терминального оборудования по схемам 1:1, или N: 1, или N:m;

4) восстановление работоспособности сети в целом путем обхода отказавшего СЭ;

5) использование систем оперативного переключения на работоспособный участок.

Указанные методы и схемы можно применять в реальных сетях как отдельно, так и в различной комбинации друг с другом в зависимости от предоставленных производителем аппаратуры ЦСП СЦИ/SDH возможностей.

Сравнение основных методов резервирования в сети СЦИ/SDH (рисунок 4.10) показывает, что относительная пропускная способность транспортной магистрали сети зависит от числа узлов N (СЭ) и типа трафика. При этом резервирование типа MS-SPRing может обеспечиваться по схемам 1+1 и 1:1 (или 1:N), а типа MS-DPRing (Multiplex Section Dedi-:ated Protection Ring) по схеме 1+1 (полное резервирование).

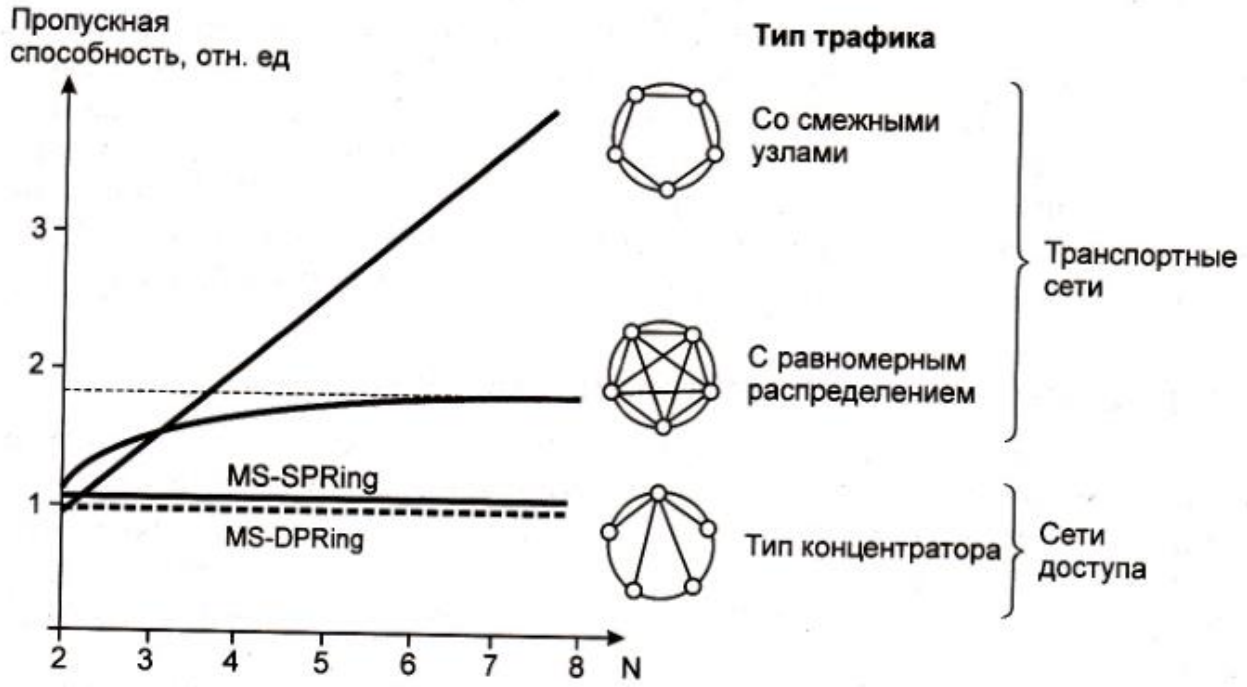


Рисунок 4.10 - Сопоставление основных методов резервирования в сети СЦИ/SDH по пропускной способности

Схема резервирования MS-SPRing широко применяется в сетях СЦИ/SDH, как кольцевой, так и ячеистой топологии. Она относится к резервированию, основанному на разделении ресурсов кольца СЦИ/SDH и применяется для колец как двухволоконных, так и четырех волоконных. Отличительной особенностью такой схемы является то, что для передачи рабочего трафика используются все волокна в обоих вариантах. Однако при 100%-ном резервировании трафика (трактов) 50% емкости каждого тракта

используется для передачи рабочего трафика, а 50% - для передачи резервного трафика. Поэтому резервирование ими MS-SPRing и служит технологией разделения ресурсов в сети.

Схема резервирования соединений подсети типа SNCP основана на *механизме защиты выделенной подсети* и может использоваться для различных вариантов ее топологии (кольцевой, ячеистой, линейной или смешанной) и на любом выделенном уровне сети. Ее применяют для резервирования трактов и каналов в пределах всей подсети. Резервирование типа: SNCP - фактически линейное резервирование каналов и трактов, которое можно использовать для индивидуальной защиты полезной нагрузки, переносимой виртуальными контейнерами VC-n любого уровня внутри мультиплексорного участка.

При переключении линейного мультиплексорного участка на резерв можно использовать механизмы резервирования как выделенной подсети, так и с разделением ресурсов сети на мультиплексных участках физической сети с топологией «точка-точка». При этом в подсети можно использовать один защищенный мультиплексный участок для защиты N рабочих мультиплексных участков. Резервирование, реализующее схему защиты 1:N, может осуществляться как для одно - так и двунаправленных схем передачи трафика, однако оно не защитит последний в случае аварии сетевого узла.

Для реализации защиты на уровне мультиплексорного участка (секции) в сетях СЦИ/SDH используется протокол MSP совместно с функцией MSP на окончаниях этого участка при организации запроса на защитное переключение и посылки сигнала подтверждения факта переключения с помощью байтов APS К1 и К2.

В четырехволоконной схеме резервирования типа MS-SPRing используется четыре волокна на каждом участке между СЭ - по два волокна в рабочем и резервном кольцах, которые являются не только двухволоконными, но и двунаправленными (рисунок 4.6). В результате четырехволоконная схема резервирования типа MS-SPRing обеспечивает размещение 100% (в отличие от 50% в двухволоконной схеме) рабочих каналов или полной емкости трактов, соответствующей используемому уровню STM-N. При этом схема отображения полезной нагрузки в структуре каналов упрощается, так как заголовки мультиплексорных участков рабочих резервных каналов полностью разделены, а каналы проходят по отдельным парам волокон.

Рассмотренное выше - лишь некая общая основа для представления возможностей применения различных типов и схем резервирования в сетях СЦИ/SDH. Ответы на многие другие вопросы, а также описание механизмов резервирования можно найти в Рек. G.841 и G.842 ITU-T. Детальное рассмотрение резервирования в сетях СЦИ/SDH дано в [61].

4.4 Новые типовые топологические решения

Разработка нового поколения аппаратуры СЦИ/SDH и появившиеся в связи с этим новые аппаратные возможности ЦСП СЦИ/SDH расширяют выбор типовых сетевых шаблонов для транспортных сетей и позволяют по-новому интегрировать различные сетевые технологии на этой основе. Рассмотрим новые сетевые шаблоны для транспортных сетей, которые весьма перспективны для построения больших и достаточно разветвленных корпоративных сетей связи.

В базовом сетевом магистральном мультиплексоре СЦИ/SDH нового поколения TN-4XE уровня STM-4 компании Nortel Networks предусматриваются широкие возможности для развития и модернизации транспортных сетей. Такой мультиплексор можно расширить до уровня STM-16 без нарушения трафика в действующей сети (рисунок 4.11). Он имеет полностью неблокируемую матрицу коммутации на уровне STM-1 между всеми интерфейсами передачи, что позволяет устанавливать до восьми оптических интерфейсов доступа уровня STM-1. Аналогичные возможности для подключения до восьми (20-ти) оптических интерфейсов передачи на уровне STM-1 имеют мультиплексоры ADM-4/1 (ADM-16/1) компании Lucent Technologies. Их использование открывает уникальные возможности для построения сетей СЦИ/SDH со сложной многоуровневой топологией.

Мультиплексоры рассматриваемого класса открывают перспективу построения топологии сети в виде двухуровневых (или многоуровневых) множественных кольцевых структур. Большой выбор пользовательских интерфейсов (оптических и электрических) уровня STM-N (N= 1, 4, ...) и возможности матрицы коммутации таких MBB/ADM позволяют организовать подключение к интерфейсам доступа парных полуколец, образующих множество лепестков в виде ромашки, примыкающих к базовому кольцу более высокого уровня иерархии. На основе аппаратуры ЦСП СЦИ/SDH нового поколения появляется возможность организовать новые базовые топологии сети - новые семейства типовых сетевых шаблонов в виде множественных колец типа «ромашки» для разработки уникальных топологий транспортных сетей [77, 80].

Новые технические решения, реализованные в аппаратуре ЦСП СЦИ/SDH вышеуказанных производителей, позволяют сформировать типовые сетевые шаблоны для организации топологии разветвленной многоуровневой транспортной сети. Эти кольцевые топологические структуры в сетях СЦИ/SDH можно представить схематически в виде комбинаций элементарных базовых сетевых шаблонов следующих типов [77]:

а) «пропеллер» - структура по схеме: «кольцо» уровня STM-4 - 2 «кольца» уровня STM-1;

б) «ромашка» - структура по схеме «кольцо» уровня STM-4 - M «колец» уровня STM-1, где M>2;

в) «веер» - структура по схеме «кольцо» уровня STM-4 - M «линия» уровня STM-1, где M>3.

В вариантах построения топологии разветвленной многоуровневой сети СЦИ/SDH на основе мультиплексоров ADM-4/1, ADM-16/1 и ADM-64 компании Lucent Technologies (рисунки 4.11 и 4.12) показаны возможности реализации рассмотренных выше сетевых шаблонов на основе современной аппаратуры ЦСП СЦИ/SDH.

Аналогичные возможности для построения топологии разветвленной многоуровневой сети СЦИ/SDH с высокой степенью защиты и заданными схемами резервирования обеспечивают мультиплексоры MBB/ADM типа TN-4XE, TN-16XE, TN-64X семейства ЦСП ГЦИ/SDH компании Nortel Networks.

4.5 Построение топологии транспортной сети

Основы построения топологии. Выбор архитектуры построения транспортной сети основывается на применении типовых архитектурно-топологических решений для отдельных элементов сети и сети в целом. При планировании и/или проектировании конкретной сети определение этих решений не сводятся только к выбору определенных комбинаций типовых базовых топологий (сетевых шаблонов), так как понятия архитектуры транспортной сети (в широком смысле) и корпоративной сети (в более узком) включают в себя такие базовые логические составляющие, как принципы построения, сетевые шаблоны и технические позиции [26, 78]. Для разработки этих технических позиций для конкретной транспортной сети, и тем более для современной цифровой корпоративной сети требуется глубокое понимание возможностей базовых сетевых технологий и тщательная проработка схем организации и топологии всех сегментов сети и сети в целом.

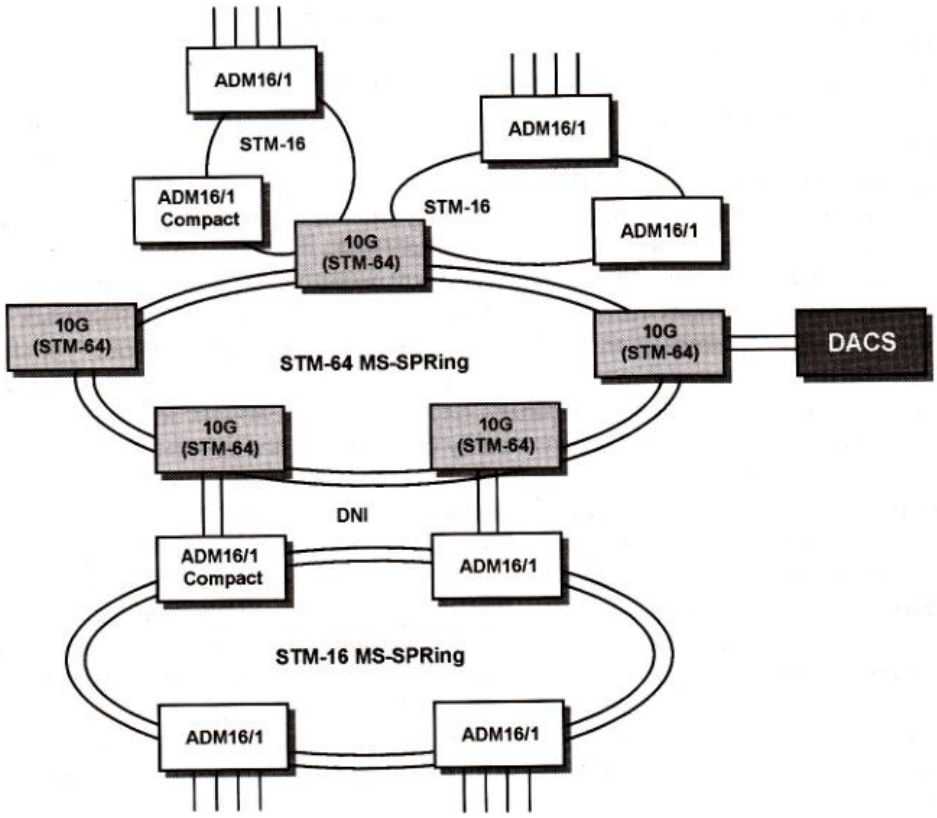


Рисунок 4.11 - Схема построения топологии сети СЦИ/SDH

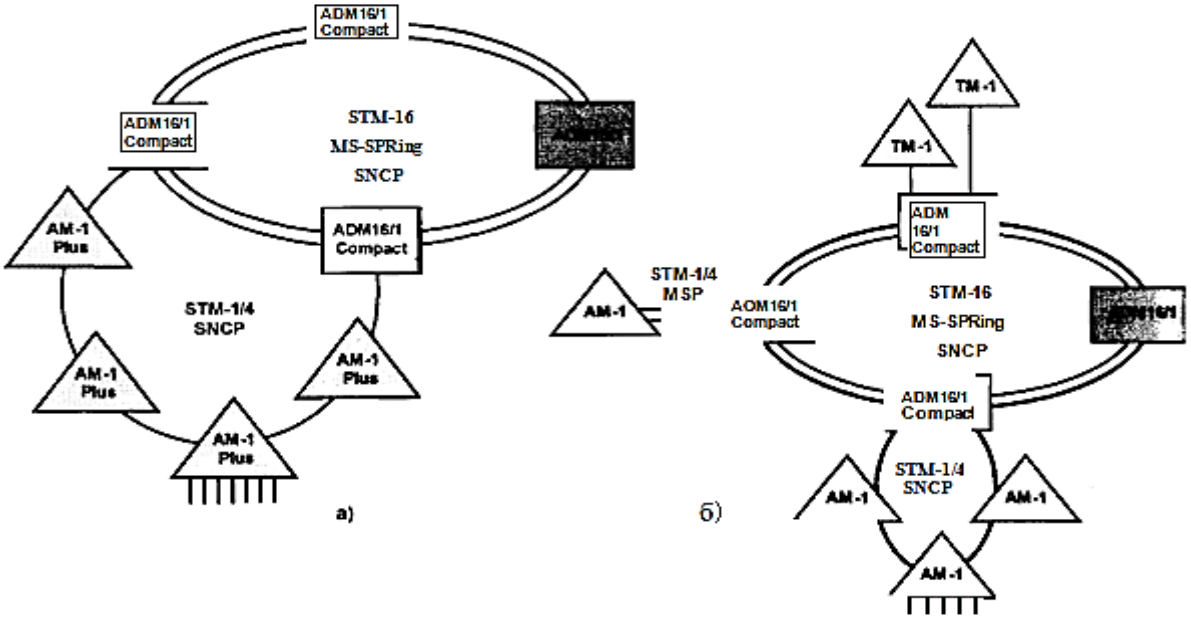


Рисунок 4.12 - Схема построения топологии сети СЦИ/SDH

При планировании и построении транспортных сетей для корпоративных сетей связи необходимо учитывать совокупность технических требований заказчика и специфику существующей и планируемой инфраструктур конкретной корпорации, что является основой для их разработки. При разработке топологии большой корпоративной сети в концепции и/или техническом задании заказчик определяет стратегию построения сети и задает основные транспортные магистрали с учетом своих потребностей и интересов. При этом, необходимо предусмотреть резервирование сетевых элементов на аппаратном и сетевом уровнях, резервирование трафика, увязать топологию транспортной сети с организацией ее управления и системы синхронизации. Кроме этого, необходимо предусмотреть организацию соответствующих сетей доступа и их подключение к узлам транспортной сети. После первичной проработки топологии обычно проводят оптимизацию сети на сетевом и элементном уровнях.

Разработка топологии транспортной сети КСС основывается на применении комбинаций элементарных базовых топологий (сетевых шаблонов). На практике чаще всего применяются топологии: радиально-кольцевая, смешанная радиально-кольцевая и топология взаимодействующих колец, а также и их различные комбинации с базовыми сетевыми шаблонами.

Применение *радиально-кольцевой топологии* наиболее оправдано, когда требуется построить высоконадежную сеть с резервированием каналов и трактов. Безусловными преимуществами применения таких шаблонов являются возможности резервирования по схеме 1+1 для двухволоконного кольца (без

применения дополнительного оборудования) и по различным схемам для четырехволоконного кольца (с дополнительным комплектом оборудования).

В радиально-кольцевой топологии с внешними радиусами существенными ограничениями являются недостаточная гибкость, обусловленная отсутствием альтернативных маршрутов (не считая резервного) и низкая эффективность использования емкости кольца. Резервирование потоков для всех каналов радиальных ветвей приводит к необходимости предоставления емкости (ресурса) СЦИ/БОН-кольца для резервных каналов и уменьшению ресурса этого кольца для передачи полезной нагрузки. Например, в кольце уровня STM-1 при резервировании по 10 каналам Е1 в каждом из четырех радиусов свободная емкость для передачи полезной нагрузки в кольце между СЭ составит лишь 23 канала Е1. Кроме этого, число СЭ - MBB/ADM в кольце, из-за необходимости делить между ними оставшийся ресурс, обычно ограничено общей пропускной способностью и распределением в нем трафика между СЭ (рисунок 4.10).

Смешанная радиально-кольцевая топология, в которой используют системы кросс-коммутации для связи смежных СЭ различных колец, позволяет избавиться от ограничений, присущих радиально-кольцевой топологии. В предыдущих топологических решениях кольца связывались с помощью каналов доступа через пользовательские интерфейсы СЭ. Системы кросс-коммутации DXCS позволяют обеспечить существенно более гибкую (по типам каналов и номенклатуре коммутируемой аппаратуры) и мощную (по коммутируемой емкости) связь колец СЦИ/SDH. Однако такое решение стоит значительных капитальных затрат.

Указанные выше ограничения радиально-кольцевой топологии с внешними радиусами недостаточная гибкость и низкая эффективность использования емкости кольца) полностью могут быть устранены для сетей с радиально-кольцевой топологией с внутренними радиусами и с топологией смежных взаимодействующих колец.

Топология смежных взаимодействующих колец в силу высоких гибкости и универсальности позволяет организовать высоконадежную транспортную сеть с необходимым резервированием трактов и каналов без ограничений, присущих рассмотренным выше топологиям [57, 61, 77]. Обычно основой базовой конфигурации транспортной сети является топология двойных колец, образующих сегменты. Для повышения надежности и живучести всей: сети смежные сегменты - кольца сопрягаются друг с другом не менее чем в двух узлах с помощью отдельных СЭ, установленных в различных кольцах. В сети предусматривается необходимая степень резервирования трафика путем резервирования трактов за счет соответствующей избыточности пропускной способности сети.

Использование двух сетевых узлов для связи различных колец в топологии смежных взаимодействующих колец приводит к двум разновидностям кольцевых топологий: *взаимодействующих виртуальных колец* и *взаимодействующих колец с выводом и продолжением.* В обеих топологиях

для связи между кольцами используют два сетевых узла, но в первом случае эти узлы не связаны между собой по маршруту прохождения трафика, а во втором - связаны, благодаря реализованной функции *вывод с продолжением* [61].

Тенденции развития топологии транспортных сетей. Практика построения и развития сетей СЦИ/SDH показывает, что одними из наиболее оптимальных по затратам на сеть в целом и наиболее гибким по функциональным возможностям, по-видимому, являются ячеистая топология сети и топология смежных взаимодействующих колец с внутренними радиусами, которая, по сути, представляет разновидность первой. В результате развития транспортная сеть СЦИ/SDH все более и более превращается в классическую ячеистую сеть с различными транспортными потоками в разных ее сегментах, определяемыми емкостью сетей доступа и потребностями развития сети в целом. Аналогичная ситуация происходит, когда сегменты транспортной сети в виде нескольких колец СЦИ/SDH объединяют между собой, превращая их сначала в смежные взаимодействующие кольца, а затем - в ячеистую сеть.

Построение транспортной сети в целом с учетом ее развития предполагает многоуровневые архитектуру и топологию сети. Топологический она должна состоять из нескольких уровней, например, базовой сети доступа, базовой транспортной сети и сети транспортных магистралей. Сеть первого уровня создается на основе радиально-кольцевой топологии, в узлах которой СЭ (МВВ уровня STM-1/4) выполняют функции концентраторов. Сеть второго уровня создается на основе топологии ячеистой сети с применением МВВ более высокого уровня, включая отдельные сегменты колец-ячеек (уровня STM-16/64). Сеть третьего уровня - сеть транспортных магистралей для выхода на сети национального и глобального масштабов.

Список сокращений

10/100BASE -xx - сеть Ethernet с автоматическим переключением скорости передачи 10/100 Мбит/с

lOOOBASE-xx - сеть гигабитный Ethernet (GE) со скоростью передачи 1 ООО Мбит/с

100VG-Any LAN - сеть быстрый Ethernet со скоростью передачи 100 Мбит/с

AAL - ATM Adaptation Layer - уровень адаптации ATM

AAL-PCI - AAL-Protocol Control Information - управляющая информация протокола уровня AAL

ABR - Available Bit Kate - возможная скорость передачи

ACS - Aluminum Clad Steel - стальная, плакированная алюминием, проволока (используется вОКГТ)

ADM - Add/Drop Multiplexer - мультиплексор ввода/вывода

ADSL - Asymmetric DSL - асимметричная цифровая абонентская линия

ADSS - All Dielectric Self Supporting Cable - полностью диэлектрический самонесущий ОК(ОКСН)

AIS - Alarm Indication Signal - сигнал индикации аварийного состояния

AITS - Acknowledged Information Transfer Service - сервис: передача информации с подтверждением приема

AMI - Alternate Mark Inversion code - двоичный код с изменением полярности сигнала на каждой единице, в результате чего формируется двухполярный трехуровневый код ANSI- American National Standards institute - Американский национальный институт стандартов

APS - Automatic Protection Switch - автоматическое защитное переключение (на резервный/защитный канал/блок/тракт)

ATM - Asynchronous Transfer Mode - асинхронный режим передачи

AU - Administrative Unit - административный блок

AU-n - Administrative Unit - административный блок уровня n (n = 3,4)

AU PTR - Administrative Unit Pointer - указатель административного блока

AUG - Administrative Unit Group - группа административных блоков

B-ISDN - Broadband ISDN - широкополосная ISDN (Ш-ЦСИС)

BBE - Background Block Error - блок с фоновыми ошибками

BBER - Background Block Error Ratio - коэффициент ошибок по блокам с фоновыми ошибками

BBU - Bus Bridge Unit - блок связи с внутренней шиной

BDI - Block Discarded Indicator - указатель (числа) отброшенных блоков

BE - Block Error - блок с ошибками

BER - Bit Error Ratio - относительный уровень ошибок по битам

BIP - Bit Interleaved Parity - четность чередующихся бит - проверка на четность, используемая в кадрах (фреймах) с чередующимися битами BLSR - Bidirectional Line Switched Ring - двунаправленное кольцо защиты с линейным переключением

(пролетов)

BM - Business Manager - бизнес-менеджер

BRI-ISDN - Basic Rate Interface ISDN - интерфейс базового доступа к ISDN

BSPRing - Bidirectional Shared Protection Ring - двунаправленное кольцо зашиты с разделениемресурсов

C-12 - Container of level 12 - контейнер первого уровня европейской схемы ПЦИ/PDH, служит для размещения первичного цифрового канала (2 Мбит/с)

C-п - Container - C-1, 2, 3 и 4 - контейнер уровня n = 1, 2. 3 и 4

CAP - Carrierless Amplitude and Phase Modulation - амплитудно-фазовая модуляция без передачи несущей

CBR - Constant Bit Rate - постоянная скорость передачи

CCITT - Consultative Committee on International Telephony and Telegraphy или The International Telegraph and Telephone Consultative Committee - Международный консультативный комитет по телефонии и телеграфии (МККТТ)

CCU - Central Clock Unit - блок центрального генератора синхросигнала

CDMA - Code Division Multiple Access - множественный доступ с кодовым разделением каналов

CLK - Clock - хронирующий сигнал, таймер

CMIP - Common Management Information Protocol - информационный протокол общего управления

CMIS - Common Management Information Service - информационный сервис общего управления

CPI - Common Part Indicator - указатель на использование общей части CS

CPS - Common Part Sublayer - подуровень общей части (уровня AAL)

CPS-PP - Common Part Sublayer-Packet Payload - пакетная полезная нагрузка подуровня общей части (уровня AAL)

CRC - Cyclic Redundancy Check - циклический избыточный код контроля ошибок

CS - Convergence Sublayer - подуровень конвергенции/связи с верхними уровнями

CSES - Consecutive Severely Errored Seconds - последовательные секунды, пораженные ошибками

CSI - Convergence Sublayer Indication - флаг (наличия) указателя дополнительного подуровня CS

CT - Central Terminal - центральный терминал

Craft Terminal - крафт-терминал - переносной PC или ноутбук PC, используемый в качестве элемент-менеджера

CVC - Connected Virtual Channel - соединенный виртуальный канал

DACC(S) - Digital Access Cross-Connect (System) - система кросс-коммутации с цифровым доступом

DAF - Directory Access Function - функция доступа к (системному) каталогу

DATA - Data - данные или поток данных
dBm - уровень мощности в децибелах, превышающий мощность в 1 мВт
DCC - Data Communications Channel - служебный канал передачи данных
DCE - Data Circuit Terminating Equipment - аппаратура (оборудование) окончания каналаданных
DCF - Data Communications Function - функция передачи данных
DCF - Dispersion Compensating Fiber - одномодовое волокно, компенсирующее дисперсию
DCN - Data Communications Network - сеть передачи данных
DFI - DSP Format Identifier - идентификатор формата DSP
DLC - Digital Loop Carrier - цифровая распределительная сеть
DLCI - Data Link Channel Identificator - идентификатор канала передачи данных
DLL - Data Link Layer - канальный уровень/Ууровень канала передачи данных
DPT - Dynamic Packet Transport - протокол динамической передачи пакетов
DNI - Digital Network Interface - интерфейс защитного соединения в системе DXC
DS-0 - Digital Signal of level 0 - сигнал нулевого уровня со скоростью 64 кбит/с - Base Rate
Digital Signal - основной цифровой канал (ОЦК), общий как для американской, так и европейской цифровых иерархий DSL - Digital Subscriber Loop - цифровая абонентская линия
DSU - Data Service Unit - сервисный блок данных
DTE - Data Terminal Equipment - терминальное (оконечное) оборудование данных
DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing - плотное волновое мультиплексирование (с разделением по длине волны)
DXC - Digital Cross-Connect - цифровой кросс-коммутатор
DXCS - DXC System - система цифровой коммутации
DXI - Data Exchange Interface - интерфейс обмена данными (используется для связи различных ЛВС со службами ATM)
El - первичный цифровой канал (ПЦК, 2048 кбит/с), соответствует первому уровню в европейской иерархии ПЦИ/PDH E2 - вторичный цифровой канал (ВЦК, 8448 кбит/с), соответствует второму уровню в европейской иерархии ПЦИ/PDH E3 - третичный цифровой канал (ТЦК, 34,368 Мбит/с), соответствует третьему уровню в европейской иерархии ПЦИ/PDH E4 - четверичный цифровой капал (ЧЦК, 139,264 Мбит/с), соответствующий четвертому уровню в европейской иерархии ПЦИ/PDH
EB - Errored Block - блок с ошибками
ECC - Embedded Control Channel - встроенный канал управления

EDF - Erbium-Doped Fiber - волокно, легированное эрбием
EDFA - Erbium-Doped Fiber Amplifier - оптический усилитель на ОВ, легированном эрбием
EM - Element Manager - элемент-менеджер - система управления СЭ/NE
EMS - Element Manager System - система управления СЭ
ES - Errored Second - секунда с ошибками // End System - конечная система
ES-ES - протокол взаимодействия конечных систем ES
ESR - Errored Second Ratio - коэффициент ошибок по секундам с ошибками
Ethernet - локальная сеть, использующая стандарт IEEE 802.3 - CSMA/CD (10 Мбит/с)
ETSI - European Telecommunications Standards Institute - Европейский институт стандартов в области связи
F - интерфейс для подключения DCN к рабочей станции элемент-менеджера
FA - Frame Alignment - синхронизация (выравнивание) кадра
FAS - Frame Alignment Signal - сигнал синхронизации (выравнивания) кадра
FDDI - Fiber Distributed Data Interlace - волоконно-оптический распределенный интерфейс (передачи данных) - локальная сеть на основе стандарта FDDI (100 Мбит/с) с ОК в качестве среды передачи
FDMA - Frequency Division Multiple Access - множественный доступ с частотным разделением каналов
FOTS - Fiber Optic Transmission System - волоконно-оптическая система передачи
FOX - Fiber Optic Multiplexor - волоконно-оптический мультиплексор семейства FOX (компании ABB)
FTP - File Transfer Protocol - протокол передачи файлов
FR - Frame Relay -- ретрансляция кадров (технология глобальных сетей)
FU - Functional Unit - функциональный блок
GE - Gigabit Ethernet - гигабитный Ethernet (скорость передачи 1000 Мбит/с, то же, что и 1000B ASE-xx)
GFR - Guaranted Frame Rate - гарантированная скорость передачи
GNE - Gateway Network Element - шлюзовой элемент сети
GPS - Global Positioning System - глобальная система позиционирования (объекта)
HDB3 - High-Density Bipolar code of order 3 - биполярный код высокой плотности около 3
HDLC - High level Data Link Control - протокол управления каналом передачи данных высокого уровня
HDSL - High-bit-rate Digital Subscriber Loop - высокоскоростная цифровая абонентская линия
HDWDM - High Density Wavelength Division Multiplexing - высокоплотное

волновое мультиплексирование (с разделением по длине волны)

HP - Hewlett Packard Corporation - компания-производитель компьютеров, сетевого оборудования и программного обеспечения

IP - Internet Protocol - протокол передачи Интернет

IPX/SPX - Internetwork Packet Exchange/Sequenced Packet Exchange - протокол обмена в сети сетевого и сеансового уровней соответственно

IS-IS - Intermediate System to IS - протокол взаимодействия промежуточных систем

ISA - Integrated IP/SDH/ATM - интегрированная система передачи IP/SDH/ATM

ISDN - Integrated Services Digital Network - цифровая сеть с интеграцией служб (ЦСИС)

ISM - Intelligent Synchronous Multiplexer - интеллектуальный синхронный мультиплексор

ISO - International Organization for Standardization - Международная организация по стандартизации

HTTP - Hypertext Transfer Protocol - протокол передачи гипертекстовой информации

ITU - International Telecommunication Union - Международный союз электросвязи

ITU-T - International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization - Международный союз электросвязи - Сектор стандартизации

LAP-B (D)- Link Access Procedures - Balanced (D-channel) - протокол доступа к линии – балансный (для D-канала)

LAN - Local Area Network - локальная (вычислительная) сеть (ЛВС)

Lashed - Lashed cable - кабель, прикрепляемый к грозотросу или фазному проводу

LED - Light Emission Diode - светодиод

LNC - Local Node Clock - таймер локального (местного) узла

LOS - Loss Of Signal - потеря сигнала (при приеме)

LPR - Local Primary Reference - локальный первичный эталон (источник, класса PRC)

LPS - Line Protection Switching - защитное переключение линии (на резерв)

LPT - Lower-order Path Termination - окончание маршрута VC нижнего уровня

MAF - Management Application Function - функция управляющего приложения

MAN - Metropolitan Area Network - городская (вычислительная) сеть

MCF - Message Communications Function - функция передачи сообщения

MD - Mediation Device - устройство сопряжения (медиатор)

MFAS - Multiframe Alignment Signal - сигнал выравнивания (синхронизации) мультикадра

MIB - Management Information Base - база управляющей информации
MID - Message Identificator - идентификатор сообщения
MPLS - Multiprotocol Label Switching - мультипротокол коммутации ATM
MPOA - Multiprotocol Over ATM - мультипротокол передачи поверх ATM
MS - Multiplex Section - мультиплексорная секция
MS-BSHR - Multiplex Section - Bidirectional Shared/Section protection Ring - двунаправленное кольцо с разделением ресурсов для резервирования мультиплексорной секции
MS-DPRing - Multiplex Section Dedicated Protection Ring - резервирование мультиплексорной секции с выделенным кольцом
MS-SPRing - Multiplex Section Shared Protection Ring - кольцо для резервирования мультиплексорной секции с разделением ресурсов
MS-USHR - Multiplex Section - Unidirectional Shared/Section protection Ring – однонаправленное кольцо с разделением ресурсов для резервирования мультиплексорной секции
MSOH - Multiplex Section Overhead - заголовок мультиплексорной секции
MSP - Multiplex Section Protection - защита мультиплексорной секции (технология, протокол)
MST - Multiplex Section Termination - окончание мультиплексорной секции
MSDSL - Multi Rate Single pair DSL - многоскоростная SDSL
MUX - Multiplexer - мультиплексор
NE - Network Element - сетевой элемент
NEF - Network Element Function - функция сетевого элемента
NetBIOS - Network Basic Input Output System - сетевой протокол базовой системы ввода/вывода
NM - Network Manager - сетевой менеджер (система управления сетью в целом)
NMS - Network Management System - система управления сетью
NNI - Network Node Interlace - интерфейс сетевого узла
NNI - Network-to-Network Interface - интерфейс сеть-сеть
NZDSF - Non-Zero Dispersion-Shifted Fiber - волокно с ненулевой смещенной дисперсией
OADM - Optical Add-Drop Multiplexer - оптический мультиплексор ввода-вывода
OAT - Optical Access Terminal - оптический терминал доступа
OAU - Overhead Access Unit - блок доступа к (секционному) заголовку SOH
OCCO - Oven Compensated Crista! Oscillator - охлаждаемый кварцевый генератор
OBA - Optical Booster Amplifier - выходной оптический усилитель
OB - Optical Buster- Оптический усилитель мощности
ODI - Open Data-Link Interface - открытый интерфейс канала передачи данных
OH - Overhead - заголовок

OHA - Overhead Access/Overhead Access function - доступ к заголовку/функция доступа к заголовку
OLT - Optical Line Termination - оптическое линейное окончание
OM - Optical Multiplexer - оптический мультиплексор
OMSP - Optical Multiplex Section Protection - защита оптической мультиплексорной секции
ONT - Optical Network Terminal - терминал (станция) контроля оптической сети (системы RFTS)
OPA - Optical Preamplifier - предварительный оптический усилитель
OPGW - Optical Ground Wire - оптический кабель в грозозащитном тросе (ОКГТ)
OPPC - Optical Phase Conductor - оптический кабель, навиваемый на фазный провод
OR - Optical Regenerator - оптический регенератор
OS - Operating System - операционная система (система, управляющая работой компьютера); управляющая система (система, управляющая работой телекоммуникационной сети)
OSF - Operations System Function - функция управляющей системы
OSPI - Optical SDFI Physical Interface - оптический физический интерфейс сигнала SDH
OTAU - Optical Test Access Unit - модуль (блок) доступа для тестирования волокон
OTDM - Optical Time Division Multiplexing - оптическое мультиплексирование с временным разделением каналов
OTDR - Optical Time Domain Reflectometer - оптический рефлектометр с TDM
PABX - Private Automatic Branch Exchange - частная АТС
PAD - PDU Adder - поле, дополняющее PDU до длины в 48 байтов
PC - Connector PC - соединитель для ОК типа PC
PC - Personal Computer - персональная ЭВМ
PCM - Pulse-Code Modulation - импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)
PDH - Plesiochronous Digital Hierarchy - плезиохронная цифровая иерархия (ПЦИ)
PDU - Protocol Data Unit - протокольный блок данных Phase Wrap - Phase Wrap cable - кабель навиваемый на фазный провод ВЛ
PL - Payload - полезная нагрузка
PMF - Polarization Maintaining Fiber - волокно, сохраняющее состояние поляризации
PNNI - Private Network-to-Network Interface - интерфейс (связи) между частными сетями
POH - Path Overhead - заголовок тракта (SDH)
PON - Passive Optical Network - пассивная оптическая сеть
PPI - PDH Physical Interface - физический интерфейс (сигнала) PDH
PPM - ppm - Parts Per Million - миллионные доли

PPP - Point-to-Point Protocol - протокол передачи типа «точка-точка»
PPS - Path Protection Switching - защитное переключение тракта
PPU - Pointer Processing Unit - блок обработки указателей
PRC - Primary Reference Clock - первичный эталонный генератор (ПЭГ или таймер PRC)
PRS - Primary Reference Source - первичный эталонный источник
PTE - Path Terminating Equipment - оконечная аппаратура (оборудование) тракта
PTR - Pointer - указатель
PVC - Permanent Virtual Circuit ~ постоянная виртуальный канал
Q3 - Q-интерфейс (для связи DCN с NE или с Q-адаптером или с MD)
QA - Q-Adapter - Q-адаптер (адаптер, позволяющий подключать оборудование, имеющее несовместимые с TMN интерфейсы)
QAF - Q-Adapter Function - функция Q-адаптера
QoS - Quality of Service - качество обслуживания
Q_x - Q-интерфейс (для связи DCN с MD и NE, а так же с Q -адаптером)
Reg - Regenerator - регенератор
RFTS - Remote Fiber Test System - система дистанционного тестирования волокон
RMON - Remote Monitoring - дистанционный мониторинг
RS - Regenerator Section - регенераторный участок
RSOH - Regenerator Section Overhead - заголовок регенераторного участка
RST - Regenerator Section Termination - окончание регенераторного участка
RSVP - Resource Reservation Protocol - протокол резервирования ресурса
RT - Remote Terminal - удаленный терминал
RTU - Remote Test Unit - блок дистанционного тестирования (системы RFTS)
SAR - Segmentation And Reassembly - подуровень сегментации и сборки
SDF - Standard Dispersion Fiber - оптическое волокно со стандартной дисперсией
SDH - Synchronous Digital Hierarchy - синхронная цифровая иерархия (СЦИ)
SDSL - Symmetrical DSL - симметричная цифровая АЛ
SDU - Service Data Unit - сервисный блок данных
SES - Severely Errored Second - секунда, пораженная ошибками
SESR - Severely Errored Second Ratio - коэффициент ошибок по секундам, пораженных ошибками
SETS - Synchronous Equipment Timing Source - хронирующий источник синхронного оборудования
SIU - Synchronous Interface Unit - блок синхронного интерфейса или блок линейного выхода
SLA - Service Level Agreement - сервисное соглашение
SLIP - Serial Line Internet Protocol - протокол передачи Интернет по

стандартной телефонной линии

SM - Service Manager - сервис менеджер

SMB - Server Message Block - протокол блока сообщений сервера

SMDS - Switched Multimegabit Data Service - коммутируемый мультимегабитный

SMN - SDH Management Network - сеть управления SDH

SMS - SDH Management Sub-network - подсеть SMS сети управления SMN

SMTP - Simple Mail Transfer Protocol - простой протокол передачи электронной почты

SNA - System Network Architecture - системная сетевая архитектура

SNCP - Sub-Network Connection Protection - защита соединения подсети (тип резервирования
или резервный блок, реализующий такую защиту)

SNMP - Simple Network Management Protocol - простой протокол сетевого управления

SNP - Sequence Number Protection - поле защиты последовательного номера ячейки

SNTP - Simple Network Transfer Protocol - простой протокол управления сетью

SOH - Section Overhead - секционный заголовок

SONET - Synchronous Optical Network - синхронная оптическая сеть:

1. синхронная сеть передачи данных по волоконно-оптическому кабелю

2. синхронная цифровая иерархия, разработанная в США

SONET/SDH - Synchronous Optical Network/Synchronous Digital Hierarchy - синхронная оптическаясеть/синхронная цифровая иерархия (единая синхронная технология или сеть SONET, использующая скорости передачи, совпадающие со скоростями передачи SDH)

SOS - Service Operations System - система управления сервисом сети

SP - Shared Protection - защита с разделением ресурсов

SPI - SDH Physical Interface - физический интерфейс (сигнала) SDH

SRC - Secondary Reference Clock - вторичный или ведомый эталонный генератор (ВЭГ)

SSU - Slave Synchronization Unit - ведомый блок (узловой) синхронизации;

SSU - Synchronization Supply Unit - блок узловой синхронизации

STE - Section Terminating Equipment - оконечное оборудование участка

STM - Synchronous Transport Module - синхронный транспортный модуль

STM-0 - Synchronous Transport Module of level 0 - синхронный транспортный модуль нулевого уровня иерархии SDH (соответствует SONET OC-1 - 51,840 Мбит/с)

STM-N - Synchronous Transport Module of level N - синхронный транспортный модуль SDH уровня N, где N = 1,4, 16, 64

256 SVC - Switched Virtual Channel - коммутируемый виртуальный канал

SVC - Switched Virtual Circuit - коммутируемая виртуальная цепь

StTDM - Statistical Time Division Multiplexing - статистическое мультиплексирование с временным разделением каналов
SyTDM - Synchronous Time Division Multiplexing - синхронное мультиплексирование с временным разделением каналов
TCP - Transmission Control Protocol - протокол контроля передачи (входит в стек протоколов TCP/IP)
TCCO - Temperature Compensated Crystal Oscillator - кварцевый генератор с температурной компенсацией
TDM - Time Division Multiplexing - мультиплексирование с временным разделением каналов
TG - Timing Generator - генератор синхронизирующих импульсов
TIU - Tributary Interlace Unit - блок интерфейсов доступа (полезной нагрузки)
TM - Terminal Multiplexer - терминальный мультиплексор
TMN - Telecommunications Management Network - сеть управления телекоммуникациями (сеть управления электросвязью)
TMS - Telecommunications Management System - система управления сетью связи
TNC - Transit Node Clock - таймер транзитного узла Token Ring- локальная сеть с кольцевой топологией
TSC - Test System Control - центральный блок управления (системы RFTS)
TU - Tributary Unit - блок каналов доступа
TU-n - Tributary Unit-n - блок каналов доступа уровня n (n = 1,2,3)
UBR - Unspecified Bit Rate - нерегламентированная скорость передачи
UDP - User Datagram Protocol - протокол передачи дейтаграмм
UNI - User-to-Network Interface - интерфейс пользователь-сеть
UTC - Universal Time Coordinated - мировое координированное время
VBR - Variable Bit Rate - переменная скорость передачи
VC - Virtual Container - виртуальный контейнер
VC-n - Virtual Container of level n - виртуальный контейнер уровня n (n = 12, 2, 3, 4)
VCC - Virtual Channel Connection - соединение по виртуальному каналу
VCI - Virtual Channel Identificator - идентификатор виртуального канала
VP - Virtual Path ~ виртуальный тракт
VDSL - Very Hight Bit Rate DSL - очень высокоскоростная цифровая AJI
VPCI - Virtual Path Connection Idenlificalor - идентификатор соединения виртуального тракта
VPI - Virtual Path Identificator - идентификатор виртуального тракта
VPN ~ Virtual Private Network - виртуальные частные сети или виртуальные сети индивидуального пользования
VTG - Virtually Tributary Group - группа виртуальных блоков с полезной нагрузкой
VTP - Virtual Terminal Protocol - протокол эмуляции терминала
WAN - Wide Area Network - глобальная сеть

WDM	- Wavelength Division Multiplexing - волновое мультиплексирование (с разделением по длине волны)
WLL	- Wireless Local Loop - абонентский беспроводный доступ
WS	- Workstation - рабочая станция (PC на одной из платформ)
WSF	- Workstation Function - функция рабочей станции
X	- X-интерфейс (для связи DCN с внешними сетями)
xDSL	- Digital Subsckriber Line - семейство цифровых АЛ
X.25	- Сеть передачи данных по протоколу X.25

Список литературы

1. Антонян А.Б., Гренадеров Р.С. Оптические кабели связи, применяемые на ВСС РФ. - Технологии и средства связи, 2009, № 4, с. 14-21.
2. Бакланов И.Г. Методы измерений в системах связи. - М.: Эко-Трендз, 2009. - 196 с.
3. Бакланов И.Г. Технологии измерений первичной сети. Ч. 1. Системы El, PDH, SDH. - М.: Эко- Трендз, 2004. - 142 с.
4. Бакланов И.Г. Технологии измерений первичной сети. Ч. 2. Системы синхронизации, B-ISDN, ATM. -М.: Эко-Трендз, 2005. - 150 с.
5. Бакланов И.Г. ISDN и FRAME RELAY: Технология и практика измерений. - М.: Эко-Трендз, 2010. -186 с.
6. Буассо М., Деманж М., Мюнье Ж.-М. Введение в технологию ATM: Пер. с англ./ Под ред. В.О. Швацмана. - М.: Радио и связь, 2007. - 128 с.
7. Вентцель Е.С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для втузов. Изд. 2-е, стер. - М.: Высш. школа, 2005. -480 с.
8. Вентцель Е.С., Овчаров JI.A. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Учеб. пособие для втузов. Изд. 2-е, стер. - М.: Высш. школа, 2010. - 383 с.
9. Вербовецкий А.А. Основы проектирования цифровых оптоэлектронных систем связи. - М.: Радио и связь, 2010. - 160 с.
12. Глоссарий МККТТ - Синяя книга. Т. 1, вып. 1.3. Термины и определения. Сокращения и акронимы. - М.: ЦНИИС, 2003.-914 с.
13. Гриднев С., Коновалов Г. Управление сетью синхронизации в сетях на основе СЦИ. - Мир связи. Connect. 2008, № 12, с. 138-141.
14. Громов Д.А., Пшеничников А.П. Параметры трафика Интернет в г. Москве. - Документальная электросвязь, 2009, № 2, с. 47-50.
15. Денисьева О.М., Мирошников Д.Г. Средства связи для последней мили. - М.: Эко-Трендз, 2008. - 146 с.
16. Заркевич Е.А., Скляров О.К., Устинов С.А. DWDM для высокоскоростных систем связи. - Технологии и средства связи, 2009, № 3, с. 10-16.
17. Иванов А.А. Корпоративные сети как составляющая информационной инфраструктуры России. // В кн. Связь России в XXI веке./ Под ред. проф. Л.Е.Варакина. - М.: МАК, 2009, с. 41-65.
18. Иванов А.Б. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. - М.: Сайрус Системе, 2009-671 с.
19. Иванов А.Б. Контроль соответствия в телекоммуникациях и связи. Ч. 1. - М.: Сайрус Системе, 2005, -376 с.
20. Иванова Т.И. Корпоративные сети связи. - М.: Эко-Трендз, 2006. - 282 с.
21. Ишкин В.Х. Концепция развития Единой сети электросвязи электроэнергетики. - М.: Энергоатомиз- дат, 2009. - 240 с.

22. Кадерлеев М.К., Колтунов М.Н., Рыжков А.В. Организация системы тактовой сетевой синхронизации на ведомственных и корпоративных сетях связи. - ВКСС. Connect. 2008, № 1, с. 81-85.

23. Кемельбеков Б.Ж., Мышкин В.Ф., Хан В.А. Современные проблемы волоконно-оптических линий связи, т.1. Волоконно-оптические кабели. - М.: НТЛ, 2009. - 392 с.

24. Конструкции, прокладка, соединение и защита оптических кабелей связи. - Женева: МСЭ - Т. Сектор стандартизации МСЭ. 2004, - 161 с.

Кульгин М. Технологии корпоративных сетей. Энциклопедия. - СПб.: Питер, 2009. - 704 с.

12. Ларин С.Г. Перспективные оптические кабели: решения для энергетики. - Технологии и средства связи, 2009, № 2, с. 16-20.

13. Любимов А.Е. Магистральные технологии передачи данных и эффективное использование каналов связи. - Документальная электросвязь, 2008, № 3, с. 26-30.

14. Любимов А.Е. Сделаем сеть рентабельной. Оценка эффективности сетей передачи данных операторов инфотелекоммуникаций. - Мир связи. Connect. 2006, № 9, с. 102-104.

15. Меккель А. Транспортные сети: Вопросы терминологии. - ИнформКурьер-Связь, 2003, № 6, с. 25-27.

16. Мельников Д.А. Информационные процессы в компьютерных сетях. Протоколы, стандарты, интерфейсы, модели... - М.: Кудиц-образ, 2009. - 256 с.

17. Механошин Б., Смирнов Б. Подвеска оптических кабелей на опорах линий электропередачи. Ч. 1. - Мир связи. Connect. 2009, № 10, с. 72-73.

18. Назаров А.Н., Симонов М.В. АТМ: Технология высокоскоростных сетей. - М.: Эко-Трендз, 2008. - 234 с.

19. Некрасов С.Е. Системы дистанционного мониторинга оптических кабелей. - Технологии и средства связи. 2007, № 4, с. 28-32.

20. Нетес А.Я. К вопросу о стандартизации и терминологии в области связи. - Мир связи. Connect. 2008, № 9, с. 54-57.

21. Нетес В.А. Основные принципы синхронной цифровой иерархии. - Сети и системы связи, 2006, № 6, с. 58-62.

22. Нетес В.А. Новые возможности аппаратуры SDH. - Вестник связи, 2009, № 9, с. 47-51.

23. Нетес В.А. Типичные недостатки при проектировании сетей SDH. - Вестник связи, 2006, № 4, с. 82-85.

24. Нетес В.А. Оптические сети. - Вестник связи, 2005, № 9, с. 36-40.

25. Нормы на электрические параметры цифровых каналов и трактов магистральной и внутризоновых первичных сетей. - М.: Минсвязи РФ, 2006. - 106 с.

26. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. - СПб: Питер, 2009.-672 с.

27. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Новые технологии и оборудование IP-сетей. - СПб: БХВ - СПб, 2005. -512 с.

28. Варакин, А.Е.Крупнов и др.; Под ред. А.Е.Крупнова и Л.Е.Варакина. - М.: Радио и связь, 2008. - 184 с.

29. Прокис Дж. Цифровая связь. Пер с англ. - М.: Радио и связь, 2008. - 800 с.

30. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. Справочник / Я.Д. Ширман, Ю.И. Лосев, Н.Н. Минервин и др./ Под ред. Я.Д. Ширмана. - М.: ЗАО «МАКВИС», 2008. - 828 с.

31. Родомиров Л., Скопин Ю.Г., Иванов А.Б. Методы и оборудование удаленного тестирования ВОЛС. - Вестник связи, 2008, № 5, с. 64-71.

32. Семенов А.С., Смирнов ВЛ., Шмалько А.В. Интегральная оптика для систем передачи и обработки информации. - М.: Радио и связь, 2010. - 224 с.

33. Семенов Н.Н., Шмалько А.В. Терминология сетей синхронной цифровой иерархии. - Сети и системы связи, 2006, № 8, с. 58-63.

34. Симичев Н.И., Ермашов А.А., Шмалько А.В. Концепция построения Единой Информационной Сети Связи АО «Мосэнерго». - ВКСС. Connect. 2005, № 1, с. 109-115.

35. Симичев Н.И., Ермашов А.А., Шмалько А.В. Единая информационная сеть связи АО ««Мосэнгт:: Рубежи и перспективы. - ИнформКурьер-Связь, 2004, № 11, с. 47-50.

36. Симичев Н.И., Ермашов А.А., Шмалько А.В. и др. Организация и построение цифровых ; = связи для систем релейной защиты и автоматики. - ВКСС. Connect. 2006, № 3, с. 18-23.

37. Синклер А. Большой толковый словарь компьютерных терминов. Русско-английский, англо-pvc. ? —М.: Вече, АСТ, 2007. - 512 с.

38. Скляров О.К. Зарубежные оптические кабели для ВОЛС. Технологии и средства связи, 2008. .Vs с . 18-26.

39. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. - М.: Радио и связь. 2006.-468 с.

40. Слепов Н.Н. Толковый словарь сокращений в области связи, компьютерных и информационных технологий. - 2-е изд. - М.: Радио и связь, 2009. - 600 с.

41. Слепов Н.Н. Маркировка оптических кабелей. - Вестник связи, 2006, № 9, с. 63-68.

42. Снайдер А., Лав Дж. Теория оптических волноводов: Пер. с англ. - Радио и связь, 2007. - 656 с.

43. Соколов Н.А. Сети абонентского доступа. Принципы построения. - Пермь: Уралсвязьинформ, 2005. -255 с.

44. В.А. Вознесенский, В.Б. Каток и др.; Под ред. С.В. Свечникова и Л.М. Андрушко. - К.: Техника, 2008. — 239 с.

45. Телекоммуникации. Мир и Россия. Состояние и тенденции развития; Под ред. Н.Т.Клещева. - М.: Радио и связь, 2009. - 480 с.

46. Технологии как основа транспортных сетей. - ИнформКурьер-Связь, 2006, № 6, с. 27-31.

47. Уайндер С. Справочник по технологиям и средствам связи. Пер. с англ. - М.: Мир, 2003. - 429 с.

48. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. - М.: Эко-Трендз, 2006. — 268 с.

49. Халсал Ф. Передача данных, сети компьютеров и взаимосвязь открытых систем: Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 2005. - 408 с.

50. Хволес Е.А., Ходатай В.Г., Шмалько А.В. Волоконно-оптические линии связи и проблемы их надежности. - ВКСС. Connect. 2008, № 3.

51. Цым А.Ю. Научные основы сооружения волоконно-оптических линий передачи (Технология ВОЛП- ВЛ) // В кн. Связь России в XXI веке./ Под ред. проф. Л.Е.Варакина. - М.: МАК, 2009, с. 673 -688.

52. Челлис Дж., Перкинс Ч., Стриб М. Учебное руководство для специалистов MCSE. Основы построения сетей: Пер. с англ. - М.: Лори. 2007. - 324 с.

53. Шарле Д.Л. Оптические кабели российского производства. - Вестник связи, 2000, № 9, с. 68-77.

54. Шехтман Л.И. Системы телекоммуникаций: проблемы и перспективы. (Опыт системного исследования.) - М.: Радио и связь, 2008. - 280 с.

55. Шмалько А.В. Общие вопросы планирования цифровых первичных сетей связи. - Волоконно-оптическая техника, 2005, № 1, с. 9-16.

56. Шмалько А.В. Принципы построения цифровых технологических сетей. - ВКСС. Connect. 2006, № 1, с. 74-80.

57. Шмалько А.В. Планирование и построение современных цифровых корпоративных сетей связи. - Вестник связи, 2008, № 4, с. 58-65.

58. Шмалько А.В. Построение современных цифровых сетей связи: основные понятия, принципы и вопросы терминологии. - ВКСС. Connect. 2005, № 2, с. 61-69.

59. Шмалько А.В., Сабинин Н.К. ВОЛС на воздушных линиях электропередачи. - ВКСС. Connect. 2008, № 3, с. 72-84.

60. Шмалько А.В., Семенов Н.Н. Сравнительный анализ цифровых систем передачи синхронной цифровой иерархии. - ВКСС. Connect. 2007, № 3.

61. Шмалько А.В., Гаскевич Е. Б., Убайдуллаев Р.Р. Система мониторинга оптических кабелей ВОЛС. - ВКСС. Connect. 2009, № 1, с. 30-35.

62. Щербо В.К. Стандарты вычислительных сетей. Взаимосвязь сетей. Справочник. - М.: Кудиц-Образ,2007- 272 с.

63. Якубайтис Э.А. Информационные сети и системы. Справочная книга. - М.: Финансы и статистика, 2006.-368 с.

64. ATM in Europe: The User Handbook. Brussels: European Market Awareness Committee. 2007. - 79 p.

65. CCITT (ITU-T) Recommendation G.602. Reliability and Availability of Analogue Cable Transmission Systems and Associated Equipments. - 2009.

ITU-T Recommendation G.101. The Transmission Plan. - 2006.

66. Цым А.Ю. Научные основы сооружения волоконно-оптических линий передачи (Технология ВОЛП- ВЛ) // В кн. Связь России в XXI веке./ Под ред. проф. Л.Е.Варакина. - М.: МАК, 2009. -с. 673 -688.

67. Челлис Дж., Перкинс Ч., Стриб М. Учебное руководство для специалистов MCSE. Основы построения сетей: Пер. с англ. - М.: Лори. 2007. - 324 с.

68. Шарле Д.Л. Оптические кабели российского производства. - Вестник связи, 2008, № 9. -с. 68-77.

69. Шехтман Л.И. Системы телекоммуникаций: проблемы и перспективы. (Опыт системного исследования.) - М.: Радио и связь, 2008. - 280 с.

70. Шмалько А.В. Общие вопросы планирования цифровых первичных сетей связи. - Волоконно-опти-ческая техника, 2009, № 1, с. 9-16.

71. Шмалько А.В. Принципы построения цифровых технологических сетей. - ВКСС. Connect. 2009, № 1, с. 74-80.

72. Шмалько А.В. Планирование и построение современных цифровых корпоративных сетей связи. - Вестник связи, 2009, № 4, с. 58-65.

73. Шмалько А.В. Построение современных цифровых сетей связи: основные понятия, принципы и вопросы терминологии. - ВКСС. Connect. 2009, № 2, с. 61-69.

74. Шмалько А.В., Сабинин Н.К. ВОЛС на воздушных линиях электропередачи. - ВКСС. Connect. 2009, № 3, с. 72-84.

75. Шмалько А.В., Семенов Н.Н. Сравнительный анализ цифровых систем передачи синхронной цифровой иерархии. - ВКСС. Connect. 2008, № 3.

76. Шмалько А.В., Гаскевич Е. Б., Убайдуллаев Р.Р. Система мониторинга оптических кабелей ВОЛС. - ВКСС. Connect. 2009, № 1, с. 30-35.

77. Щербо В.К. Стандарты вычислительных сетей. Взаимосвязь сетей. Справочник. - М.: Кудиц-Образ, 2009. 272 с.

78. Якубайтис Э.А. Информационные сети и системы. Справочная книга. - М.: Финансы и статистика, 2008.-368 с.

Содержанеие

Введение……. 3
1 Введение в планирование цифровых сетей связи …….. 4
1.1 Основные понятия ……... 4
1.2 Введение в цифровую иерархию сетей…….. 9
1.3 Принципы планирования и построения цифровых сетей…… 12
1.4 Архитектура и топология сетей связи …….. 13
1.5 Основы инженерного планирования сетей…… 17
2 Требования к проектированию телекоммуникационных систем……. 21
2.1 Характеристики современных мультисервисных сетей……. 21
2.2 Основные характеристики транспортных сетей……. 24
2.3 Требования к транспортным сетям……... 25
2.4 Особенности современных корпоративных ЦСС…… 26
2.5 Основные требования к корпоративным сетям…….. 27
2.6. Требования к сетям доступа……. 31
2.7. Классификация узлов цифровых первичных и больших корпоративных сетей…… 33
3 Базовые сетевые технологии для современных цифровых транспортных и корпоративных сетей связи…… 35
3.1Технологии передачи для транспортных сетей…… 35
3.2Технологии передачи в сетях доступа……... 39
3.3 Технология плезиохронной цифровой иерархии. Технология синхронной цифровой иерархии…… 42
3.4 Технология синхронной цифровой иерархии…… 43
3.5 Технологии волнового и плотного волнового мультиплексирования…….. 59
3.6 Технология асинхронного режима передачи…… 67
3.7 Технологии сети Интернет ……. 74
3.8 Интеграция сетевых технологий в цифровых сетях…… 78
4 Топология транспортных цифровых сетей связи……. 81
4.1 Элементы и топология сети……. 81
4.2 Базовые сетевые топологии и их интеграция в транспортной сети.. 85
4.3 Резервирование каналов и трактов…… 90
4.4 Новые типовые топологические решения…… 92
4.5 Построение топологии транспортной сети…….. 94
Список сокращений…….. 98
Список литературы …….. 108

Чежимбаева Катипа Сламбаевна
Мухамеджанова Альмира Далелханкызы

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Учебное пособие

Редактор Н.М.Голева

Подписано в печать____2014
Тираж 100 экз. Формат 60х84 1/16

Бумага типографская №2
Уч.-изд. л. 7,1. Заказ №___
Цена 3550 тенге.

Некоммерческое АО «АУЭС»
г.Алматы, ул. Байтурсынова, 126

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
г. Алматы, Байтурсынова, 126

119