

Введение

*Сложная система, спроектированная наспех,
никогда не работает, и исправить ее,
чтобы заставить работать, невозможно.*

16-й закон системантики – Закон Мерфи:
Мерфология – общая и частная

Роль и важность планирования сетей в современном телекоммуникационном бизнесе не могут быть переоценены, и это понимают ведущие операторы связи во всем мире.

Планирование позволяет обеспечить непрерывное развитие сетей связи на основе следующих факторов:

- анализа характеристик существующей сети;
- разработки планов развития и модернизации существующей сети;
- прогноза будущих потребностей в услугах связи, предоставляемых сетью;
- реализации намеченных планов.

Ключевыми понятиями в планировании сетей являются *гибкость* и *непрерывность*. Под *гибкостью* подразумевается и гибкость планирования сети и гибкость в принятии решений на стадиях как планирования, так и реализации планов построения сети. Процесс планирования сети включает решение ряда взаимосвязанных задач (именно в этом одна из причин сложности планирования сети). К наиболее значимым и важным относятся следующие аспекты планирования:

- постановка задачи;
- изучение и анализ исходных данных и путей решения;
- расчет базовой стоимости сети;
- предсказание плана и структуры сети;
- оптимизация сети;
- выбор необходимого оборудования для сети.

Решение поставленной задачи планирования конкретной сети сводится в конечном итоге к получению спецификаций на необходимое оборудование, предложений по архитектуре и топологии сети и будущим инвестициям для ее построения.

Процесс планирования сети должен быть *гибким, непрерывным и итерационным* на каждом шаге планирования. В общем процессе планирования стратегические направления планирования развития сети определяются на длительную перспективу (например, на 10-20 лет). При этом основой планирования являются требования заказчика, сформулированные в задании или концепция построения и развития конкретной сети, которые обязательно включают перечень, объемы и качество предоставляемых услуг в сети.

Перспективное стратегическое планирование современной ЦСС предусматривает разработку следующих составляющих:

- основного технического плана построения сети;
- надежности и безопасности;
- качества обслуживания в сети;
- маршрутизации трафика;
- сигнализации;
- числа пользователей;

- тарифов на услуги связи;
- инвестиций в построение сети;
- технических характеристик каналов передачи в сети;
- систем синхронизации;
- систем коммутации;
- управления сетью.

Оптимизация сетевой структуры и обоснование будущих инвестиций в построение сетей – главные цели перспективного планирования.

Планирование конкретной сети связи предусматривает следующие задачи:

- *краткосрочный* (например, до 2-х лет) и *долгосрочный* (например, до 10 лет) *прогнозы развития*;
- *прогноз спроса на услуги связи*;
- *прогноз нагрузки (трафика) в сети*;
- *оптимизацию структуры и определение объема ресурсов сети*;
- *оптимизацию инвестиций в построение и/или развитие сети*.

Планирование нагрузки и оптимизация структуры сети включает задание матрицы исходящего/входящего трафика для всех узлов сети (в эрлангах), определение матрицы передачи (распределения) трафика между узлами в потоках Е1 (2 Мбит/с), определение емкости и базовых скоростей передачи транспортных магистралей и всей сети в потоках синхронных транспортных модулей STM-N ($N = 1, 4, 16, \dots$), определение спецификаций на оборудование и аппаратуру для сети.

Таким образом, планирование сети позволяет в едином комплексе решить основную задачу оптимизации инвестиций при построении и создании ЦСС различного масштаба.

Глава 1

Ищите и найдете, стучите, и отворят вам.

Евангелие от Матфея

Отыщи всему начало, и ты многое поймешь.

Козьма Прутков

Введение в планирование цифровых сетей связи

1.1. Основные понятия

Основные понятия передачи информации. Интеллектуальная деятельность человека, работа автоматики, связи, компьютерной техники и других устройств связаны с хранением, переработкой и передачей различных *сообщений*: речевых, текстовых, видеоизображений и т.д. 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 называют *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*,

$$T_d = 1/2f_{\max}, \quad (1.1)$$

где $f_{\max}$ – наивысшая частота спектра сигнала.

Если эту функцию рассматривать на конечном интервале времени T , то число передаваемых отсчетов $T/T_d = 2f_{\max}T$. Величину $f_{\max}T$ 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 $B = 1/T_d$, где T_d – 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 $f_d = 2f_v$, где f_v – верхняя частота спектра передаваемого аналогового сигнала. Для стандартного телефонного канала, имеющего $f_v = 4$ кГц, частота дискретизации $f_d = 8$ кГц, что соответствует максимальному *периоду дискретизации сигнала* $T_d = 1/f_d = 125$ 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 *двоичный 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 скоро-

стью передачи $\nu = 56$ кбит/с ($8 \text{ кГц} \times 7 \text{ бит} = 56 \text{ кбит/с}$ при 7-битном кодировании) или $\nu = 64$ кбит/с ($8 \text{ кГц} \times 8 \text{ бит} = 64 \text{ кбит/с}$ при 8-битном кодировании).

Канал со скоростью передачи $\nu = 64$ кбит/с называют *основным цифровым каналом* (ОЦК, который обозначают DS0 (или E0)).

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 (рис. 1.1) – устройство, осуществляющее операцию мультиплексирования, в частности, в ЦСП мультиплексируются *цифровые каналы передачи* (ЦКП). Мультиплексор типа $n:1$, по определению, формирует из n входных цифровых последовательностей или ЦКП одну выходную. Если скорость ν передачи данных во всех каналах одинакова, то теоретически мультиплексор должен обеспечить на выходе скорость передачи данных, равную произведению $n \times \nu$.

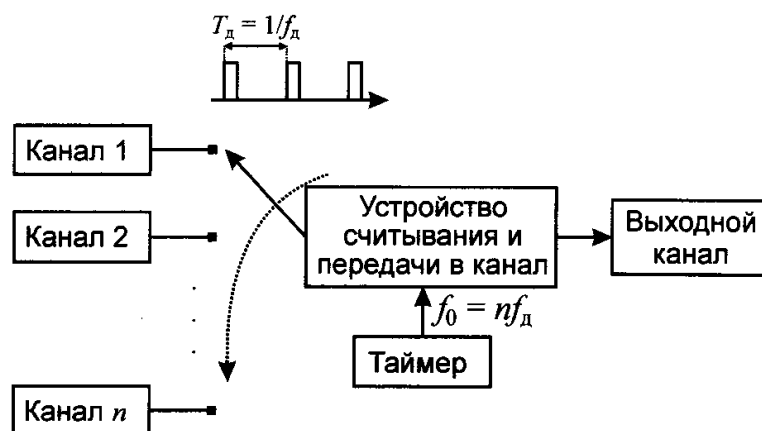


Рис. 1.1. Структурная схема мультиплексора

При использовании в качестве входного сигнала ОЦК со скоростью передачи 64 кбит/с, с помощью мультиплексора типа $n:1$ теоретически можно сформировать цифровые потоки со скоростью передачи $n \times 64$ кбит/с. Так для американского стандарта цифровой иерархии (с 24 ОЦК имеем $24 \times 64 = 1536$ кбит/с) скорость передачи цифрового потока на выходе первичного мультиплексора $\nu = 1,536$ Мбит/с. Для европейского стандарта цифровой иерархии (предусматривающего 30 ОЦК и 2 канала синхронизации и управления – $32 \times 64 = 2048$ кбит/с) скорость передачи $\nu = 2,048$ 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 – $n \times m \times \nu$, на третьем – $n \times m \times l \times \nu$, на четвертом – $n \times m \times l \times k \times \nu$). Варьируя коэффициенты кратности n, m, l можно сформировать различные иерархические наборы скоростей передачи или *цифровые иерархии* ЦСП, которым соответствуют определенное число ОЦК на выходе мультиплексора соответствующего уровня.

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. Примерная классификация сетевых узлов ЦПС дана в [77, 79] и более подробно будет рассмотрена в гл. 2.

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* (рис. 1.2) включает в себя вторичные сети и ряд подсистем (например, нумерации, сигнализации и т.п.). Это общая структура сети электросвязи в соответствии с концепцией развития Взаимоувязанной сети связи Российской Федерации [43].

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 (рис. 1.3) состоит из основной (центральной) части – *транспортной*

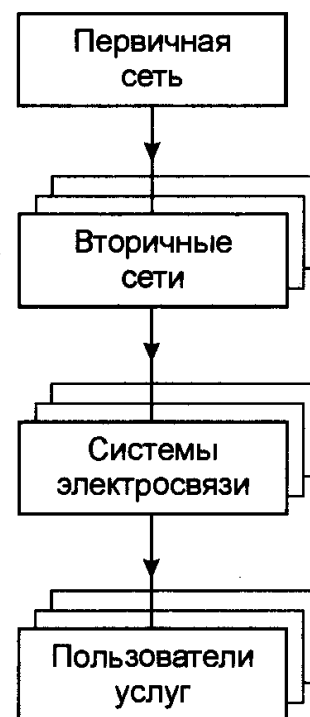


Рис. 1.2. Общая структура сети электросвязи

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.

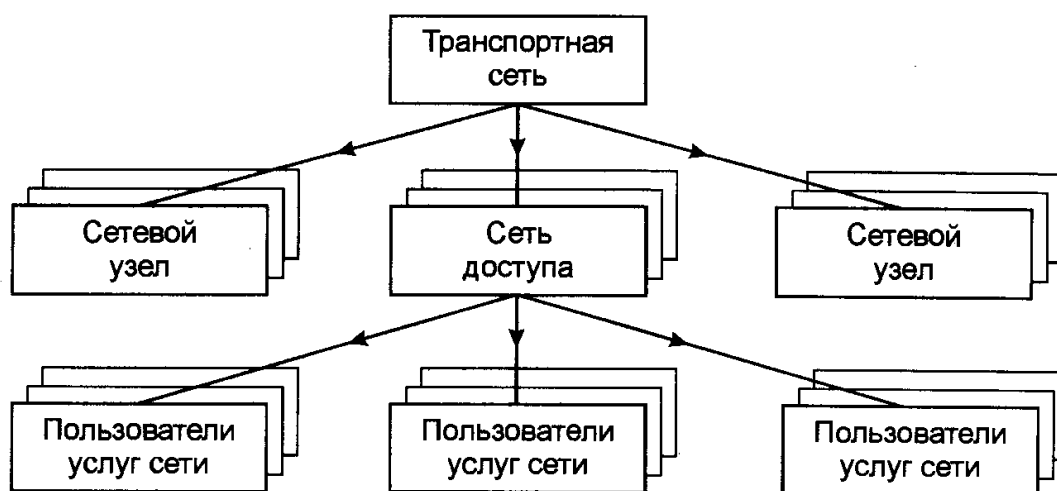


Рис. 1.3. Архитектура современной цифровой сети

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 $n = 24$, $m = 4$, $l = 7$, $k = 6$ 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 $n = 24$, $m = 4$, $l = 5$, $k = 3$ 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 E1 – E2 – E3 – E4 – E5. Данная иерархия скоростей с учетом канала передачи DS0 соответствует ряду коэффициентов мультиплексирования $n = 30$, $m = 4$, $l = 4$, $k = 4$, $i = 4$ 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 *плезеохронной 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 (E1 – E2 – E3 – E4) и указаны схемы *кросс-мультиплексирования* иерархий (рис. 1.4). В результате стандартизации были разработаны схемы плезеохронной цифровой иерархии (ПЦИ/PDH) и синхронной цифровой иерархии (СЦИ/SDH).

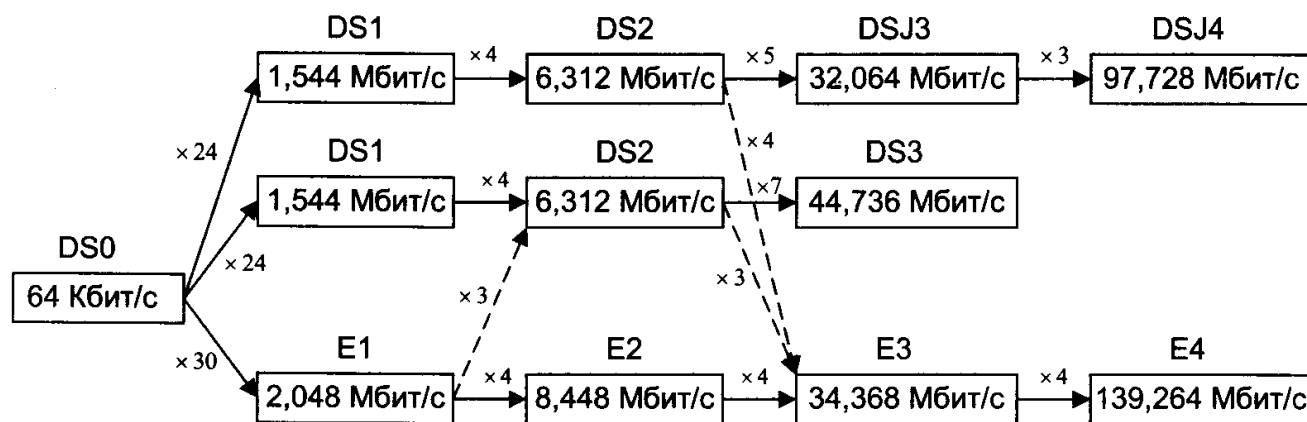


Рис. 1.4. Схемы мультиплексирования и кросс-мультиплексирования (пунктир) для различных стандартов цифровых иерархий

Основными скоростями передачи в плезеохронной цифровой иерархии являются значения 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 плезеохронной цифровой иерархии является то, что переход от одного уровня скоростей к другому происходит последовательно в соответствии со схемой, представленной на рис. 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 демultipлексировании (процедура *положительного стаффинга*) с помощью служебного канала в составе группового сигнала.

Существенными недостатками технологии ПЦИ/PDH являются наличие нескольких иерархий и плезиохронный 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 ATM и т.п. [36].

Технология ПЦИ/PDH поддерживает следующие уровни иерархии цифровых каналов: абонентский или основной цифровой канал E0 (64 кбит/с) и цифровые каналы уровней E1 (2,048 Мбит/с), E2 (8,448 Мбит/с), E3 (34,368 Мбит/с), E4 (139,264 Мбит/с). Уровень цифрового канала E5 (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 ($N = 1, 4, 16, \dots$)).

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, 79].

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 корпо-

ративных 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.

Детальное рассмотрение этих этапов планирования будут раскрыты в процессе дальнейшего рассмотрения (гл. 2, 8, 11).

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 управления, и образующих иерархическое дерево всей сети, начиная от транспортной сети и заканчивая пользовательскими интерфейсами в сети доступа. Совокупность стандартов на все интерфейсы, 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 парк, 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 транспортных магистралей и интеграцию различных видов трафика в сети. На базе цифровых транспортных сетей формируется и создается все разнообразие выделенных цифровых каналов передачи (ЦКП) или связи (ЦКС), которые и образуют цифровые сети с коммутацией каналов. Базовыми сетевыми технологиями для транспортных сетей являются ПЦИ/PDH и ПЦИ/SDH. В транспортных сетях используется иерархия скоростей передачи в соответствии с международными Рек. ITU-T и получившим наибольшее распространение европейским стандартом, который применяется на сетях связи Российской Федерации (РФ).

Технология ПЦИ/PDH поддерживает следующие уровни иерархии цифровых каналов: абонентский или основной канал E0 (64 кбит/с) и пользовательские каналы уровней E1 (2,048 Мбит/с), E2 (8,448 Мбит/с), E3 (34,368 Мбит/с), E4 (139,264 Мбит/с). Уровень цифрового канала E5 (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 E1 (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 ($N = 1, 4, 16, \dots$)). 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 (АПИ/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 В-ISDN. С другой стороны, технология ATM имеет общие транспортные протоколы для локальных (ЛВС) и глобальных сетей и обеспечивая их взаимодействие.

Технологии сети Интернет или сети на основе стека протоколов TCP/IP (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 TCP/IP 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 плотного 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:

- TCP/IP – технология сети Интернет, основой которой является стек протоколов TCP/IP или протокол управления передачей/протокол сети Интернет;
- ATM – технология асинхронного режима передачи (переноса);
- SDH – технология СЦИ;
- WDM – технология волнового мультиплексирования (ВМП);
- 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 Р ATM/SDH/DWDM.

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

На рис. 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.

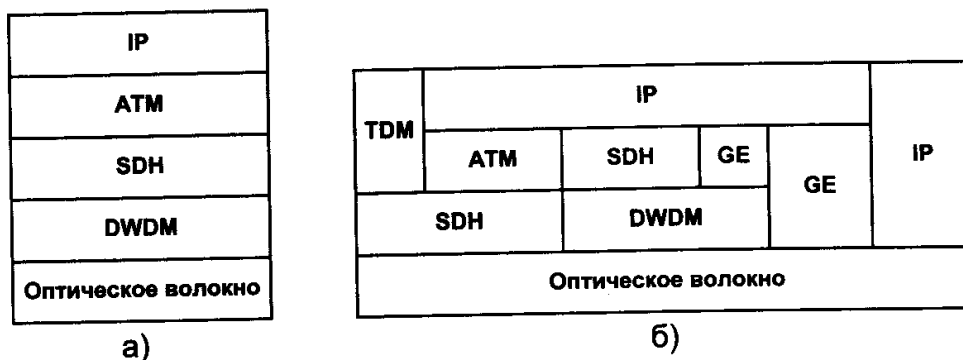


Рис. 1.5. Варианты архитектуры интегрированной мультисервисной сети:
а – традиционной; б – перспективной IP-сети

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 коль-

ках, так и *линейных трактах* между отдельными *кольцами*. Основные варианты таких типовых сетевых шаблонов и примеры топологических решений для сетей СЦИ/SDH представлены в [61]. Подробно вопросы топологии транспортных сетей будут рассмотрены в гл. 8, где будут детально представлены известные и некоторые новые сетевые шаблоны для транспортных сетей, которые весьма перспективны для построения больших цифровых корпоративных сетей. 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, 79]:

- 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, ATM 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 трафика.
- 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 будущей 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 магистралах сети;
- надежность или коэффициент готовности сети в целом.

На основных этапах планирования предусматривается решение следующих задач:

- определение существующей и планируемой загрузки 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 $n \times E1(E0)$);
- 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, 11, 66]. Она сводится к расчету энергетического потенциала ВОЛС с учетом дисперсии ОБ 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 ОБ для ОК на длине волны 1550 нм типичное значение потерь $\alpha = 0,2$ дБ/км, дисперсия ОБ $D = 10$ пс/км/нм (см. разд. 3.2). Средняя чувствительность фотоприемных модулей аппаратуры СЦИ/SDH при коэффициенте ошибок не более 10^{-9} обычно $S_{\text{вх}} = -(37...40)$ дБм. На выходе агрегатных блоков аппаратуры СЦИ/SDH (точнее в ОБ на входе ОК) уровень мощности излучения $P_{\text{вых}} = -(10...15)$ дБм. Таким образом, зная энергетический потенциал и потери в линии можно определить максимальную длину ОК ВОЛС между узлами первичной сети или *протяженность регенерационного участка*

$$L_{\text{ВОЛС}} = (S_{\text{вх}} - P_{\text{вых}})/\alpha. \quad (1.2)$$

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. Например, для аппаратуры СЦИ/SDH уровня STM-16 с типичными характеристиками интерфейсов приема-передачи

при длине волны 1550 нм максимальная длина ВОЛС (ограничена потерями в волокне) 120 км, а при длине волны 1300 нм (ограничена дисперсией волокна) примерно 70 км. При точном расчете максимальной длины ВОЛС необходимо учитывать дисперсию для конкретных типов ОВ в ОК и выбирать конкретные стандартизованные агрегатные блоки аппаратуры ЦЦИ/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 методов оптимизации по заданным критериям (например, таким как стоимость, качество и т.д.). 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 E1 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 $i = 1, 2, 3, \dots, k$ – номер тракта в сети. При этом задается норма загрузки сети по трактам для различных категорий пользователей сети. Например, для абонентов – пользователей каналов тональной частоты (ТЧ), подключаемых к АТС, норма загрузки каналов (в эрлангах) обычно принимается 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 специальными требованиями, предъявляемыми к сегментам транспортной сети, на основе которых строят специальные вторичные сети, например, технологические. В транспортных сетях на основе аппаратуры ЦЦИ/SDH основными вариантами резервирования являются кольцевое типа SNCP (Subnetwork Connection Protection) со 100%-ным резервированием потоков (трафика) по схеме 1:N и типа MS-SPRing (Multiplex Section Shared Protected Ring) по схеме 1+1, т.е. со 100%-ным резервированием всей емкости линии, что требует использования 50% емкости в кольце ЦЦИ/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 используемого оборудования ЦСП ЦЦИ/SDH возможны различные варианты и схемы резервирования, которые более подробно будут рассмотрены ниже.

Глава 2

*Работая над решением задачи, всегда
полезно знать ответ.*

Правило точности – Закон Мерфи:
Мерфология – общая и частная

Требования к первичным и корпоративным цифровым сетям связи

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 возрасли. 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. Рассмотренные в гл. 1 базовые сетевые технологии можно использовать для построения сетей как магистральных транспортных (и подключения к ним сетей доступа и различных пользователей), так и интегрированных мультисервисных. Основное различие между ними заключается в стоимости и сложности реализации. 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, 79]:

- *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 линий 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 скорости 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 АТМ 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 АТМ. Однако обладая всеми необходимыми достоинствами с точки зрения качественного транспорта всех типов информационных потоков, включая IP-трафик, технология АТМ 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/АТМ, открывает новые возможности для сети АТМ. Этот протокол позволит использовать технологию АТМ 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 АТМ. 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 АТМ (возможно в сочетании с протоколом MPLS/АТМ).

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 проектирования 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 можно повысить путем аппаратного резервирования сетевых элементов (узлов), резервированием трафика, сетевых трактов и каналов за счет соответствующей организации архитектуры 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] (см. разд. 3.6-3.8).

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 так же аппаратное резервирование 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 – предоставление 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 услуг 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, 79]. 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 табл. 2.1 представлены основные характеристики технологий качества обслуживания [26].

Таблица 2.1. Основные характеристики технологий качества обслуживания

Технология	Доступность	Достоинство	Ограничения, недостатки
Обеспечение перекрывающей пропускной способности	Полностью доступна	Проста 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. Требуется дополнительных ресурсов маршрутизаторов
Протокол RSVP (Resource Reservation Protocol)	Доступна	Может работать в любых IP-сетях. Обеспечивает требуемое качество обслуживания SoQ	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 ATM с качеством обслуживания	Полностью доступна	Стандартизованная технология	Требуется транспортная магистраль ATM

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 видеoinформации 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.

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 аналоговыми 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 линии (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 $t_{\text{зmax}}$. Для рассматриваемых систем ДЗЛ, достаточно широко применяемых в электроэнергетике, время $t_{\text{зmax}}$ 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. Подробно эти вопросы будут обсуждаться в гл. 12.

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 снижает 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 (АТМ, 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 в еще большей степени при планировании корпоративных или ведомственных сетей.

Опираясь на опыт планирования цифровой первичной сети связи Мосэнерго (рис. 2.1) [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 ($N = 1, 4, 16, \dots$), 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 АТМ, 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 ($N = 1, 4, 16, \dots$) и коммутирует скоростные цифровые потоки в пределах сегмента или между отдельными сегментами транспортной сети. Такой узел может включать оборудование ЦСП как АТМ, 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.

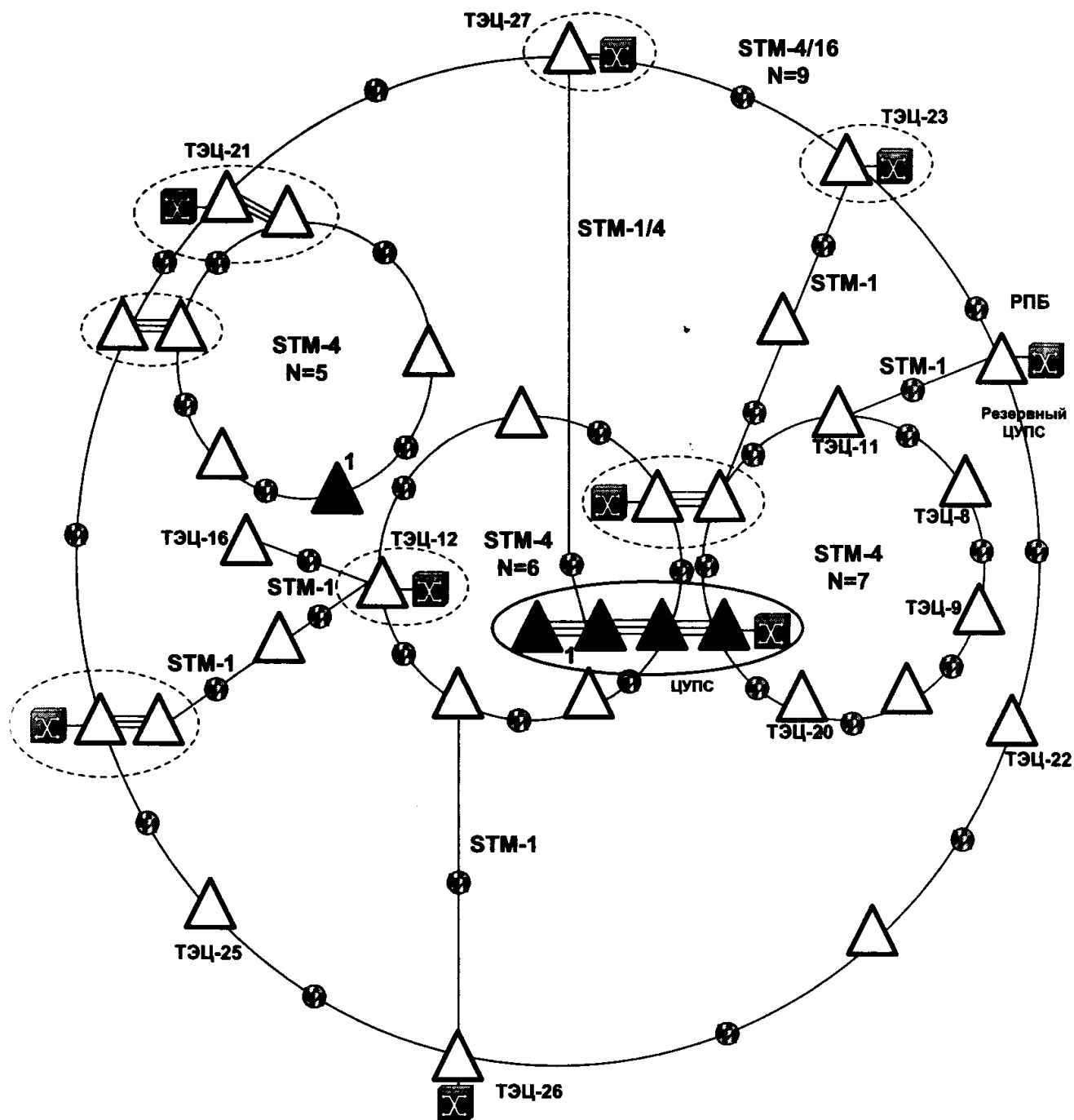
Сетевой узел ЦПС четвертой категории обеспечивает передачу цифровых потоков уровня E1 и основного цифрового канала E0 (64 кбит/с) между ЦПС, ЦВС и сетями доступа или между цифровыми вторичными сетями. Такой узел может включать ЦСП ПЦИ/PDH и другое оборудование доступа к ЦПС и ЦВС.

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, необходима 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.



Условные обозначения:

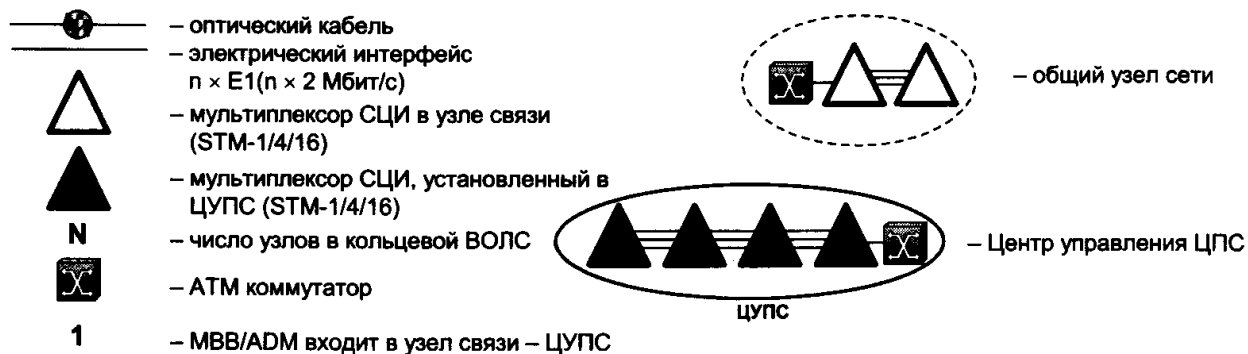


Рис. 2.1. Структурная схема ЦПС АО «Мосэнерго», 1-ая очередь (см. рис. 8.13)