

## Основные положения теории передачи цифровых сигналов.

### Термины и определения.

Эта страница Базы знаний предназначена, в основном, для того, чтобы читатели могли уточнить и дополнить свои знания терминологии, принятой в отрасли телекоммуникаций. Раздел содержит как толкование и уточнение значения ряда терминов, так и списки наиболее часто встречающихся сокращений как на английском (они широко распространены в отечественной практике), так на русском языке.

Кстати, о языке. К сожалению, масса неквалифицированных переводов англоязычной технической литературы привела к совершенно неоправданному засорению нашего инженерного языка жаргонными английскими терминами, имеющими, в то же время, вполне вразумительные русские аналоги. Например:

инсталляция - установка или монтаж (это французское слово давно прижилось в русском языке, монтажник – это уже наше);

фрейм – цикл;

малтифрейм (мультифрейм) – сверхцикл;

тайм слот – канальный интервал;

телекоммуникации – связь (связь, поверьте, это и короче, и правильнее).

Этот список можно продолжать ещё долго, и мы будем благодарны читателям за свои замечания, уточнения и дополнения данного раздела.

И ещё: авторы вовсе не против тех терминов, которые уже прижились в нашем языке или требуют для их перевода слишком громоздких русских выражений (например: кросс-коннект, бит, байт и т.д.).

Наверное, комментарии к сложившейся в настоящее время терминологии имеет смысл начать с того, что же представляют собой линии связи. Естественно, что при этом мы неизбежно затронем и классификацию телекоммуникационных сетей. В основе сети связи каждой страны по-прежнему лежат сложившиеся в течение нескольких десятилетий *телефонные сети общего пользования* (ТфОП), а также *сети передачи телеграфных сообщений и специальных дискретных сигналов* (ПДИ). Помимо национальных ТфОП и телеграфных сетей работают многочисленные *корпоративные сети связи*, обслуживающие ведомства, отрасли, корпорации или отдельные предприятия и несущие как телефонные сообщения, так и всевозможные широкополосные сигналы и каналы ПДИ.

При классификации линий связи, образующих вместе с коммутационным и периферийным оборудованием телекоммуникационную сеть, линии принято делить на две основных категории: соединительные и абонентские.

*Абонентскими линиями* являются направляющие системы, которые обеспечивают соединение периферийных узлов (чаще всего, в качестве последних используются АТС ТфОП) с аппаратурой абонентских окончаний. В качестве абонентских устройств в первую очередь используются аналоговые телефонные аппараты. Однако в настоящее время всё больший объём абонентских устройств составляют факсимильные аппараты, персональные компьютеры, специальная аппаратура передачи данных, аппаратура защиты информации и другие цифровые устройства.

*Соединительные линии* обеспечивают соединения узлов телекоммуникационных сетей, в том числе соединения между магистральными и периферийными узлами и АТС.

Как уже неоднократно отмечалось, помимо количественного роста сетей, радикально изменилась структура информации, передаваемой как по ТфОП, так и по корпоративным сетям. С одной стороны, основным видом нагрузки соединительных линий становятся групповые сигналы ЦСП различных ступеней плезиохронной и синхронной цифровых иерархий. С другой – началось широкое внедрение услуг **цифрового абонентского доступа**, в том числе таких, как передача данных, электронная почта, видеотелефон, мультимедийные услуги и т. д. Известно, что по существующим нормам, для передачи информации одного телефонного канала в аналоговой форме требуется полоса 0,3 – 3,4 кГц. Преобразование этого же канала при помощи ИКМ требует скорости передачи, равной 64 кбит/с, и, соответственно, ширины полосы пропускания канала связи, равную 64 кГц. Существует ряд технических решений, позволяющих снизить скорость передачи и сузить спектры передаваемых сигналов. Вместе с тем, по абонентским линиям всё же передаются цифровые сигналы, ширина спектров которых лежит в пределах от нескольких кГц до нескольких сотен кГц, а по соединительным линиям – от 1024 кГц (ИКМ-15) до 9 953 280 кГц (STM-64).

Развитие отрасли требует пересмотра базовых принципов построения телекоммуникационных сетей. Качественную передачу информации между узлами уже невозможно обеспечить, используя только классическую схему «точка – точка». Определяющими становятся параметры, характеризующие работу всего комплекса систем формирования, передачи и коммутации сигналов, образующих **сеть связи**. При этом актуальным становится деление сетей на транспортные сети и сети доступа.

Появился термин, определяющий **следующее поколение телекоммуникационных сетей – Next Generation Networks (NGN)**. В отечественной литературе принято обозначение «**сеть последующих поколений**» (СПП). СПП считают новым конкретным шагом в реализации концепции **глобальной информационной инфраструктуры (ГИИ)**.

**СПП** включает в себя все элементы, требуемые для возможной функциональной совместимости и способности сетей, обеспечивает глобальную поддержку приложений в телекоммуникационной сети при сохранении подхода с разделением **транспортировки, услуг и применений**.

Узлы связи вместе с соединительными линиями образуют **транспортную сеть**, которая обеспечивает не только надёжную передачу заданных объёмов сообщений, но и всё многообразие дополнительных услуг. Поэтому в понятие транспортной сети следует включить объединённые ресурсы унифицированных систем передачи, прозрачных для различных типов передаваемой информации, а также сигналов контроля, управления, взаимодействия, служебной связи. Сеть должна обеспечивать возможность гибкой реконфигурации в зависимости от изменения характера и объёма трафика, резервирования и дублирования линий в случае каких-либо нарушений режима работы или падения качества передачи. Унификация транспортных сетей позволяет объединять их в рамках глобальной сети связи.

Меняется также и концепция построения сетей доступа. На начальном этапе развития **сети доступа** представляли собой совокупность линий, соединяющих абонентов сети с территориальным узлом. Чаще всего сеть доступа строилась на базе симметричных медных кабелей, предназначенных для передачи каналов тональной частоты, и соединителей для подключения абонентских устройств. Однако в настоящее время одной из наиболее характерных тенденций развития рынка телекоммуникаций является значительное расширение номенклатуры услуг, предоставляемых абонентам сетей связи. К ним относятся такие услуги, как передача данных, включая электронную почту, низкоскоростной доступ в Интернет и передача неподвижного (факсимильного) изображения. Кроме того, всё шире внедряются услуги, требующие высоких скоростей передачи цифровой информации, например, передача подвижного (видеотелефон и видеоконференция) изображения, графические

компьютерные приложения мультимедийной информации, высококачественное телевизионное и радиовещание, высокоскоростные каналы передачи данных в системах управления и контроля производственными процессами. При этом указанные услуги предназначаются, в равной мере, как для корпоративных клиентов телекоммуникационных сетей, так и для так называемого квартирного сектора телефонных сетей общего пользования (ТфОП).

Вы уже обратили внимание на то, что упомянутая выше скорость передачи информации выражается в *битах в секунду* (бит/с). Для сигналов на выходе каждой ступени цифрового каналообразования и группообразования принято указывать стандартизованное значение скорости передачи в бит/с. В тоже время скорость передачи информации непосредственно по линиям связи принято выражать в *бодах*. Наверно, стоит разобраться в том, что же обозначают термины «*бит*» и «*бод*», и как они связаны друг с другом.

Термин «бит» широко используется в вычислительной технике и технике передачи данных и обозначает *единицу информации, или элементарную посылку*. Эта посылка может соответствовать понятиям «да» и «нет», или, в случае формирования двоичного (часто используется термин «*бинарный*») сигнала, единице («1») или нулю («0»). Нет необходимости напоминать, что вся цифровая техника основана именно на преобразовании исходного аналогового или текстового сигнала в цифровой двоичный сигнал. При этом исходное число  $N$ , (чаще всего оно десятичное) выражается в виде:  $N = 2^m$ , где  $m$  – требуемое число разрядов двоичного числа. Так, например, если нужно отобразить двоичными числами 32 буквы алфавита или 32 уровня квантования, то для этого потребуется пятисимвольная комбинация (или, другими словами, кодовое слово) нулей и единиц. Однако если помимо 32 букв алфавита надо передавать ещё и пробелы между словами или знаки препинания, или если число уровней квантования несколько превысит 32, необходимо использовать шестисимвольные комбинации двоичных символов, т.к.  $m$  всегда будет целым натуральным числом.

В вычислительной технике часто используется также термин «*байт*», который обозначает совокупность восьми бит, или восьмисимвольное кодовое слово. Ниже, когда будут рассматриваться вопросы формирования основного цифрового канала ОЦК и группового сигнала ИКМ-30 или Е1, мы столкнёмся с проблемой работы с такими восьмисимвольными группами элементарных посылок.

Итак, скорость передачи, то есть количество нулей и единиц двоичного сигнала, переданных за единицу времени, выражается в бит/с. Однако часто при описании работы цифровых линий широко используется выражение скорости передачи в Бодах. Эта величина пришла к нам из телеграфии, где Бод означает передачу одной элементарной посылки (как говорят телеграфисты, «нажатия» или «отжатия») в секунду. Для бинарного двухуровневого сигнала скорость передачи, равная 1 бит/с, будет соответствовать 1 Бод. Однако в настоящее время всё больший объём информации передаётся по линиям связи в виде многоуровневых сигналов.

Многоуровневый сигнал формируется путём разбиения исходного бинарного сигнала на группы из  $n$  символов, причём число уровней многоуровневого сигнала определяется числом возможных комбинаций символов в пределах группы. Такой многоуровневый сигнал, передаваемый в заданной полосе частот и с заданной вероятностью ошибки, способен обеспечить более высокую скорость передачи исходного двоичного сигнала, однако при этом требуется обеспечить существенное увеличение соотношения сигнал/шум. Например, при формировании групп из двух бинарных символов, комбинаций символов, и, соответственно, групп может быть четыре, то есть, можно формировать четырёхуровневый сигнал. Число уровней в общем виде равно  $2^n$ . 3 бита исходного бинарного сигнала в группе позволяют формировать 8-уровневый сигнал, 4 бита – 16-уровневый и т. д. В одном тактовом

интервале многоуровневого сигнала будет передаваться информация, заключающаяся в 2-х, 3-х или 4-х битах исходного бинарного сигнала. При этом скорость передачи многоуровневого сигнала, измеряемая в бодах, будет меньше скорости передачи исходного бинарного сигнала соответственно в 2, 3 или 4 раза. При более сложных вариантах преобразования исходного бинарного сигнала, например, при использовании так называемых блочных кодов, также возникает необходимость увязать между собой эти две величины (бит/с и Бод).

### **Иерархии цифровых систем передачи**

Характерной особенностью, как транспортных сетей, так и сетей доступа является то, что они представляют собой совокупность систем передачи с различной пропускной способностью и с различными скоростями передачи, работающими по различным средам передачи. Телефонная сеть страны представляет собой совокупность региональных транспортных сетей, которые, в свою очередь, подразделяются на категории местных, в том числе городских (ГТС) и сельских (СТС), внутризональных (ВЗТС) и магистральных (СМП). Естественно, что по сравнению с сетями доступа, транспортные сети, как правило, отличаются большими пропускными способностями линий, которые входят в их состав. Однако в последнее время уже определилась тенденция развития высокоскоростных сетей доступа, использующих такие технологии передачи, как xDSL, Gigabit Ethernet и т.п. Сети доступа соединяются с узлами транспортных сетей. Целью такого соединения является ввод абонентов в сеть и обеспечение доставки к ним всего объёма аналоговых и цифровых услуг, включая широкополосные мультимедийные сигналы, Интернет и видеотелефон.

Вместе с ТФОП в рамках взаимоувязанной сети связи (ВСС) действует множество корпоративных (ведомственных) сетей связи, начиная от простейших локальных сетей и, кончая такими мощными сетями, как сети, обслуживающие транспорт, линии электропередачи, системы трубопроводов различного назначения и т. п. К ним относятся такие операторы связи, как Транстелеком, Газсвязь, Связьтранснефть и пр.

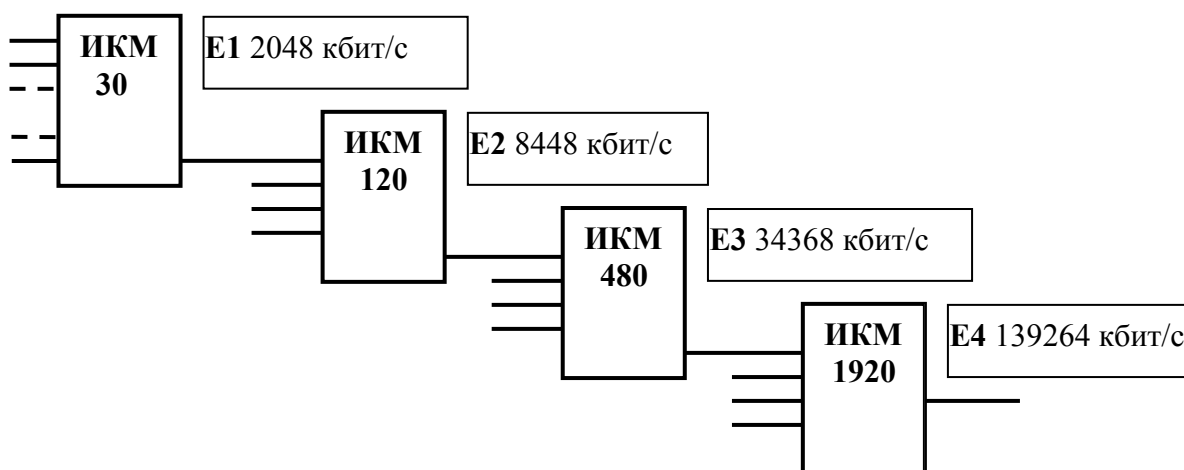
**Иерархией ЦСП** называется совокупность систем передачи, функционирующих в составе единой цифровой сети и имеющих стандартизованные величины пропускной способности. При этом ЦСП каждого уровня иерархии стандартизуются по структуре группового сигнала и основным стыковым параметрам.

Групповые сигналы каждой ступени иерархии формируются путём объединения ряда цифровых потоков низшей ступени. Групповой сигнал первой ступени также формируется из ряда оцифрованных абонентских сигналов. Процесс формирования группового цифрового сигнала получил название **мультиплексирования**, а узел, осуществляющий эту функцию, называется **мультиплексором**. Соответственно, операция разделения группового цифрового потока на ряд потоков низших ступеней называется **демультиплексированием**, а устройство, реализующую функцию разделения – **демультиплексором**. Как правило, мультиплексор и демультиплексор в составе аппаратного комплекса ЦСП объединяются в одном узле мультиплексора-демультиплексора (иногда в литературе встречается термин **мульдекс**). Принципы действия мультиплексоров-демультиплексоров в ЦСП с различной пропускной способностью, в основном, одинаковы, различие главным образом в элементной базе и быстродействии. Подробное их рассмотрение выходит за рамки данной книги, тем более, что они достаточно подробно освещаются в технической литературе

На ТФОП и всех корпоративных сетях работают ЦСП, не связанные единой системой синхронизации, оборудованные различными сервисными подсистемами и имеющие генераторное оборудование, допускающее определённый разброс номиналов тактовых частот. Система, объединяющая такие ЦСП, получила название

**плезіохронной цифровой иерархии** (ПЦИ или PDH). Эта иерархия использует метод асинхронного объединения и разделения сигналов ЦСП, имеющих типовые номиналы скоростей передачи, но не охваченных единой системой синхронизации.

Плезіохронная иерархия ЦСП, стандартизованная в России, странах Европы и ряде других государств, базируется на первичной цифровой системе передачи ИКМ-30, а также на ЦЭАТС, формирующих потоки E1 для уплотнения соединительных линий. Групповые сигналы PDH формируются путём объединения сигналов ЦСП низшей ступени иерархии. При этом используется метод побитного объединения цифровых потоков. Пропускная способность ЦСП каждой последующей ступени иерархии возрастает в 4 раза по сравнению с предыдущей ступенью. Основные технические характеристики и обозначения систем передачи PDH даны в табл. 1. и рис. 1.



**Рис.1:** Плезіохронная иерархия ЦСП

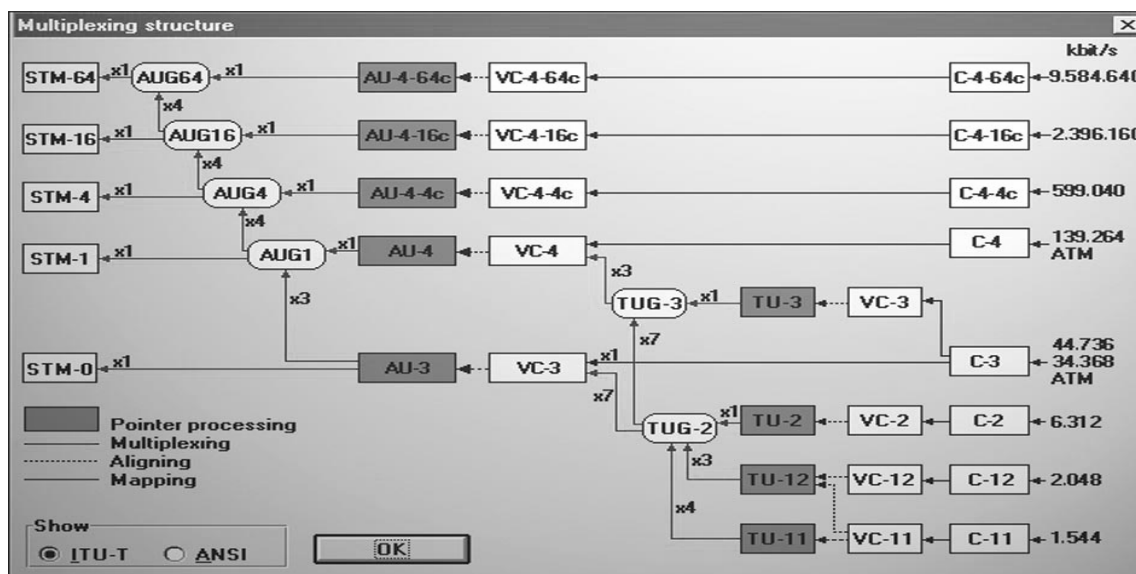
Вернёмся, однако, к проблемам формирования плезіохронной иерархии ЦСП. Компонентные сигналы ПЦИ формируются различными, зачастую территориально разнесёнными мультиплексорами, а также различным цифровым коммутационным оборудованием (ЦЭАТС). Возможный разброс номиналов тактовых частот источников компонентных сигналов равен  $\pm 5 \cdot 10^{-6}$  для ЦЭАТС, ИКМ-30 и ИКМ-120,  $\pm 3 \cdot 10^{-6}$  для ИКМ-480,  $\pm 1,5 \cdot 10^{-6}$  для ИКМ-1920. Кроме того, тактовая частота каждого источника неизбежно будет флюктуировать в результате воздействия внешних дестабилизирующих факторов. Поэтому, несмотря на то, что скорости передачи ЦСП жёстко стандартизованы, синхронное объединение цифровых потоков невозможно. Необходимо обеспечить уравнивание скоростей, или стаффинг, в противном случае возможно «набегание» одной импульсной последовательности на другую и потеря части информации. Процедура мультиплексирования состоит в записи компонентных сигналов в устройство оперативной памяти (буфер), которое производится на скорости данного компонентного потока, и последующего считывания информации с повышенной скоростью, что гарантирует своевременное опорожнение буфера. Недостаток битов (неполное заполнение буфера) компенсируется битами стаффинга. Помимо информационных потоков в групповой сигнал высшей ступени вводятся сигналы цикловой синхронизации, сигналы управления и индикаторы стаффинга, предназначенные для синхронизации процедуры демultipлексирования сигнала на противоположном конце цифрового тракта. Поэтому скорость передачи группового сигнала будет превышать величину скорости компонентного сигнала, умноженную на 4. Например, скорость передачи группового сигнала ИКМ-120 равна  $2048 \text{ кбит/с} \times 4 + 256 \text{ кбит/с} = 8448 \text{ кбит/с}$ .

В настоящее время возможности плезиохронной цифровой иерархии уже не удовлетворяют возросшим требованиям к объемам передаваемой информации, номенклатуре услуг, надёжности и гибкости сетей, а также возможности построения глобальной сети, функционирующей по единым стандартам. Назрела необходимость создания совокупности новых цифровых систем передачи с расширенными возможностями, которой стала **синхронная цифровая иерархия** (СЦИ или SDH).

SDH позволяет создать на сети связи универсальную транспортную систему (ТС), объединяющую функции передачи информации, контроля и управления. Информационной нагрузкой ТС SDH могут быть сигналы любой из существующих ЦСП PDH, потоки ячеек ATM, сигналы ISDN и т.п.

Универсальные возможности транспортирования разнородных сигналов достигаются в SDH благодаря использованию принципа контейнерных перевозок. В ТС SDH перемещаются специальные цифровые структуры – виртуальные контейнеры (ВК или VC), в которых размещаются сигналы нагрузки и вспомогательная информация. Сетевые операции с контейнерами выполняются независимо от их содержания. Ввод адресной и вспомогательной информации осуществляется в процессе формирования таких промежуточных информационных структур, как компонентные (TU) и административные (AU) блоки. Передача VC осуществляется в составе структур, получивших название синхронных транспортных модулей (СТМ или STM). После доставки на место назначения информационные сигналы выводятся из контейнеров. Принцип формирования сигналов SDH иллюстрируется рис. 2.

Система синхронизации работы сетевых узлов, окончечных и промежуточных пунктов позволяет избежать потерь информации при мультиплексировании и демультимплексировании цифровых потоков.



**Рис. 2:** Формирование сигналов SDH (пример отображения на дисплее анализатора сигналов).

- С - исходный контейнер
- VC - виртуальный контейнер
- TU - компонентный (трибутарный) блок
- TUG - группа компонентных блоков
- AU - административный блок
- AUG - группа административных блоков
- STM - синхронный транспортный модуль

В качестве компонентных (трибутарных) потоков могут использоваться как потоки PDH всех ступеней иерархии, так и сигналы SDH низших ступеней, а также сигналы ATM или Ethernet, Fast Ethernet и Gigabit Ethernet. Цифровые тракты SDH прозрачны для всех перечисленных выше сигналов. Поэтому в дальнейшем при рассмотрении функционирования соединительных линий различных типов мы будем ориентироваться только на стандартную сетку скоростей PDH и SDH. Проблемы организации высокоскоростных компонентных потоков (например, Ethernet и т. п.) возникают только для случаев их передачи по абонентским линиям или в пределах локальных сетей. Эти вопросы более подробно будут освещены в следующих разделах.

ТС SDH позволяет создавать и эксплуатировать сети различных конфигураций. Обязательным условием построения ТС SDH является наличие систем сетевого контроля и управления с резервированием, оперативным переключением, вводом и выделением потоков информации на оконечных и промежуточных пунктах и автоматическим обслуживанием.

При построении цифровой иерархии всегда необходимо определить ряд стандартов скоростей, принцип формирования иерархии и первую ступень её ряда.

Характерной особенностью Взаимоувязанной Сети Связи Российской Федерации (ВСС РФ) является использование для её построения так называемых субпервичных ЦСП, то есть ЦСП, не входящих в стандартизованные МСЭ-Т иерархии. Субпервичные ЦСП имеют пропускную способность ниже, чем у первичных. Они используются, в основном, на сетях сельской и пригородной связи, а также на корпоративных сетях, не требующих высокой пропускной способности.

Таким образом, в составе ВСС РФ работают разнообразные ЦСП, начиная с субпервичной ИКМ-15 с пропускной способностью 15 каналов ТЧ для СТС, и кончая системами передачи синхронной цифровой иерархии с пропускной способностью от 1890 до 30240 каналов ТЧ или основных цифровых каналов 64 кбит/с (ОЦК), работающими на магистральных сетях. Скорости передачи в этом случае лежат в пределах от 1024 кбит/с до 2 488 320 кбит/с, а в стадии внедрения в эксплуатацию находятся ЦСП со скоростью передачи 9 953 280 кбит/с. Практически все используемые на ВСС РФ ЦСП соответствуют международным стандартам (рекомендации МСЭ-Т G.702, G.707), установленным для плезеохронной и синхронной цифровых иерархий, или отраслевым нормативным документам, установленным для субпервичных ЦСП. Обозначения цифровых потоков PDH и SDH, скорости передачи и число первичных цифровых потоков (Е1) и каналов ТЧ или основных цифровых каналов 64 кбит/с, входящих в цифровой поток данного уровня иерархии, приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Иерархия ЦСП	Обозначение	Скорость передачи (кбит/с)	Число ПЦК	Число каналов ТЧ, ОЦК
PDH	Е1 (ИКМ - 30)	2048	1	30
	Е2 (ИКМ - 120)	8448	4	120
	Е3 (ИКМ - 480)	34368	16	480
	Е4 (ИКМ - 1920)	139264	64	1920
SDH	STM 1	155520	63	1890
	STM 4	622080	252	7560
	STM 16	2488320	1008	30240
	STM 64	9953280	4032	120960

## **Краткая характеристика соединительных и абонентских линий телефонной сети общего пользования и корпоративных цифровых сетей.**

Основой любой сети электросвязи можно считать среду передачи информации. Среда передачи включает в себя комплекс устройств, обеспечивающих передачу сигналов, а также физическую среду, в которой эти сигналы распространяются. Естественно, что каждой из существующих категорий сетей, таких, как абонентские, местные, внутризоновые и магистральные, присуща своя группа сред передачи. *Среда передачи* должна реализовать требования к пропускной способности линий связи, образующих данную сеть, и обеспечивать необходимые качественные показатели передаваемых сигналов. Необходимо также организовать техническое обслуживание сети.

В процессе своего развития техника связи последовательно осваивала такие среды передачи, как металлические симметричные и коаксиальные кабели, волноводы, полосковые линии, и, наконец, оптическое волокно. Соединительные линии транспортных сетей строятся на базе радиорелейных и спутниковых линий, линий тропосферного и ионосферного рассеивания. Беспроводные абонентские сети базируются на системах радиодоступа подвижных и неподвижных абонентов, транковых радиосетях и оптических атмосферных линиях. Из всего многообразия перечисленных выше принципов передачи современные телекоммуникационные сети используют в качестве сред передачи, в основном, *металлические и волоконно-оптические кабели*, а также *радиорелейные и спутниковые линии*.

Задача обеспечения качественной передачи высокоскоростных цифровых сигналов по линиям связи успешно решается путём внедрения волоконно-оптических систем передачи (ВОСП). Однако надо учитывать также и то, что на сетях связи в настоящее время находятся в эксплуатации десятки тысяч километров металлических кабелей различных типов. Задача их замены на волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) требует достаточно длительного времени и огромных капиталовложений. Поэтому одной из основных проблем, которые приходится решать разработчикам и проектно-строительным организациям, является необходимость использования для построения указанных сетей уже существующих кабельных линий, которые первоначально строились для передачи аналоговой или, в крайнем случае, низкоскоростной цифровой информации. Необходим новый подход к проектированию, строительству и, в особенности, к организации контроля и измерения основных параметров передачи кабельных линий.