

## Лекционный материал дисциплины «Технологические принципы организации инфокоммуникационных услуг»

Раздел 1. Введение. Термины и определения.

### 1.1. Инфокоммуникационная сеть, как большая и сложная система.

Многие термины и словосочетания используются в устной речи и в литературе различного рода без каких-либо объяснений. Такая практика принята в тех случаях, когда термин или словосочетание относится к виду self-defining, то есть считается самоопределяемым. Термины "связь" и "электросвязь" часто используют без комментариев, считая их понятными. Тем не менее, целесообразно дать ряд пояснений если не терминам "связь" и "электросвязь", то хотя бы соответствующим функциям.

Функции, выполняемые системой связи, можно рассматривать как один из видов работы, представимой простыми операциями "взять – перенести". Подобный подход часто используется для описания процессов функционирования различных технических систем.

Функции системы связи, когда она рассматривается как процесс вида "взять – перенести", будут – здесь и далее – сравниваться с простой задачей по перемещению стакана сока. Предположим, что стакан сока следует взять со стойки бара и перенести на обеденный стол. Какие требования характерны для перемещения стакана сока? По всей видимости, их можно сформулировать в виде трех основных утверждений:

- выполнить задачу за время, не превышающее некоторый порог  $T_0$ ;
- не выплеснуть из стакана сок, объемом более  $V_0$ ;
- не допустить попадание в стакан посторонних веществ с концентрацией свыше  $P_0$ .

Введем ряд соответствий. Термин "время" оставим без изменений. Вместо выплеснутого сока будем оперировать потерей некоторой части информации (под информацией будем понимать содержательное описание объекта или явления, хотя такая трактовка не в полной мере отражает смысл данного термина). Посторонние вещества можно ассоциировать с искажением информации. Тогда функции системы связи при переносе информации между точками  $X_1$  и  $X_2$  можно представить при помощи трех утверждений:

- передать информацию за время, не превышающее некоторый порог  $T_0$ ;
- не потерять основную часть информации, допустив потери не выше  $V_0$ ;
- не допустить искажение информации свыше уровня  $P_0$ .

В этой и в следующих лекциях выбранный аналог будет использован для рассуждений, касающихся различных способов реализации функций системы связи. Кроме того, следует учитывать, что функции системы связи постоянно меняются. По этой причине далее будут вводиться и другие аналогии, полезные с точки зрения междисциплинарного изучения электросвязи.

## 1.2. Развитие связи до использования электричества

Связь часто рассматривают как способ реализации коммуникативных потребностей. Коммуникативные потребности возникли еще до появления человечества. Животные передают информацию при помощи звука, запаха и поз тела. Эта информация помогала защищаться от врагов, охранять территорию проживания, добывать пищу. Обмен информацией в животном мире, в основном, регулируется инстинктами. В растительном мире также можно найти примеры процессов, которые можно рассматривать как обмен информацией.

Наши далекие предки поначалу, возможно, копируя поведение животных, расширили сферу применения системы связи. Правда, использование органов обоняния было сведено к минимуму. Основная роль отводилась органам слуха и зрения.

Вероятно, на этом этапе сложились принципы преобразования информации в сообщение. Информацию о конкретном объекте  $A$  в момент времени  $t_0$  можно представить  $n$ -мерным вектором  $I_A(t_0)$ . Его координаты  $b_i(t_0)$ , измеренные или полученные иным способом, отражают выбранные признаки объекта  $A_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ). Как правило, существует некая ошибка  $\varepsilon_i(t_0)$ , равная разнице истинного  $a_i(t_0)$  и измеренного  $b_i(t_0)$  значений:  $\varepsilon_i(t_0) = a_i(t_0) - b_i(t_0)$ . Значение  $b_i(t_0)$  может быть представимо числом (например, 17), диапазоном изменений изучаемой величины (например, от 14 до 19), а также словами.

Сообщение  $B_A(t_0)$  об объекте  $A$  кроме значений  $b_i(t_0)$ , содержащих полезную информацию, должно включать:

- адрес, куда оно должно быть доставлено, –  $I_1$ ;

- сведения, необходимые для передачи информации, –  $I_2$ ;
- служебную информацию –  $I_3$ .

Очевидно, что в общем случае  $V_A(t_0) > I_A(t_0)$ . С другой стороны, примитивные способы связи позволяют передать важную информацию при помощи очень коротких сообщений. Например, свист в течение трех секунд (для заранее установленных принципов трактовки полученных сообщений) мог означать, что к охотникам приближается стадо оленей численностью около тридцати голов.

Свист и другие формы звуковых сообщений широко использовались нашими далекими предками для обмена информацией. Законы распространения звука таковы, что передача сообщений на большие расстояния требует значительного времени. В частности, в 1797 году три тысячи солдат ружейными выстрелами передали сообщение о начале коронации императора Павла I из Москвы в Санкт-Петербург. Дистанция между солдатами была немногим более 200 метров. В 1838 году в США сообщение об открытии нового судоходного канала было передано пушечными залпами. Расстояние в 700 километров было преодолено примерно за 80 минут. Это означает, что скорость передачи информации составила 145,8 м/с. Напомним, что скорость звука при нормальных условиях его распространения в воздухе 330 м/с.

Одним из способов доставки сообщений стало использование видимых символов. Простейшими носителями информации служили огонь и дым. Потом родилась идея оптического телеграфа. Его часто называют телеграфом Шаппа – по имени автора, французского священника. Линия связи между Парижем и Лиллем длиной 210 км была открыта в июле 1794 года. В ней насчитывалось 20 промежуточных станций, каждая из которых обслуживалась одним или двумя специалистами. Их задача состояла в том, чтобы наблюдать в подзорную трубу за соседней станцией и воспроизводить полученные сигналы. Идея оптического телеграфа похожа на те принципы, которые использовались с XVII века в военно-морском флоте. Принципы связи, похожие на оптический телеграф, описал Флавий Вегетий Ренат, занимавшийся военными исследованиями в Древнем Риме, то есть до нашей эры. В апреле 1809 года оптический телеграф помог Наполеону своевременно получить информацию об осаде Мюнхена австрийскими войсками и прийти на помощь баварцам. Свидетельство о работе телеграфа Шаппа содержится в романе Александра Дюма "Граф Монте-Кристо". Роман был опубликован в 1845 году, когда эпоха оптического телеграфа заканчивалась.

В России оптический телеграф соединил Санкт-Петербург и Варшаву. Длина линии связи, которая эксплуатировалась около двадцати лет, начиная с 1833 года, составила одну тысячу километров. Сообщение передавалось в среднем за один час.

Еще один пример передачи информации без применения средств электросвязи – "улиточный телеграф". В XIX веке в США был проведен такой эксперимент. Виноградные улитки образовали двадцать шесть брачных пар. Каждая пара соответствовала букве английского алфавита. Затем по одной улитке из каждой пары были доставлены во Францию. Когда на улитку воздействовал раздражитель (электрический ток или кислота) сжимался и брачный партнер, находящийся по другую сторону Атлантического океана. По мнению ряда ученых информация передавалась посредством биополя.

Рассмотренным способам связи свойственны достоинства и недостатки, которые целесообразно рассматривать с учетом требований, сложившихся к середине XIX века. Чаще всего пользователей не удовлетворяло время передачи сообщений. Во многих случаях достоверность полученной информации была ниже требуемого уровня. Некоторые системы связи не работали в ночное время или при плохой погоде. Наконец, назрела необходимость организации связи на большие расстояния; в том числе – между континентами. Нужен был качественный скачок, который был сделан посредством электрической связи.

### **1.3. Эра развития электросвязи**

Первым видом электросвязи стал электромагнитный телеграф. Его появлению способствовало развитие физики. Уже в XVIII веке открытия в области электричества позволили осуществить первые опыты по реализации основных элементов системы телеграфной связи. Создание источников электроэнергии, ставшее возможным благодаря открытию Александром Вольта, позволило в 30-е годы XIX века перевести опыты в практическую плоскость.

В июле 1820 года Ханс Христиан Эрстед опубликовал результаты своих исследований, касающихся воздействия электрического тока на магнитную стрелку. Эти результаты стимулировали дальнейшие исследования. В частности, Андре Мари Ампер сформулировал научно обоснованные предложения по созданию электромагнитного телеграфа. Идея Ампера была основана на прокладке большого числа проводов (равного количеству букв в

алфавите). Подобный проект не имел практического значения, но основные теоретические положения сыграли важную роль в развитии телеграфной связи. Следует упомянуть, что до публикации работ Эрстеда велись работы по созданию электростатического и электрохимического телеграфа, но эти направления не были перспективными.

Первый электромагнитный телеграфный аппарат был создан российским дипломатом, востоковедом и криптографом Павлом Львовичем Шиллингом. Демонстрация работы этого аппарата состоялась 21 октября 1832 года в доме П.Л. Шиллинга. Передача осуществлялась между помещениями, удаленными друг от друга на расстояние в 100 метров. Каждой букве алфавита соответствовала комбинация символов, которая отображалась черными и белыми кружками на телеграфном аппарате. В Германии электромагнитный телеграфный аппарат был сконструирован в 1833 году. Авторами проекта стали Карл Гаусс и Вильгельм Вебер. В 1837 году в Великобритании Уильям Кук и Чарльз Уитстон разработали свою версию телеграфного аппарата. В том же году Сэмюэл Морзе запатентовал свой терминал в США. Телеграфный аппарат С. Морзе был электромеханическим устройством. Его коллеги из России, Германии и Великобритании разрабатывали электромагнитный терминал. Несомненной заслугой Морзе стало изобретение кода, в котором буквы представлялись комбинацией точек и тире.

В 1837 году началось коммерческое использование телеграфной связи. Первым городом, где была введена сеть телеграфной связи, стал Лондон. Вскоре этот – первый – вид электросвязи стал активно развиваться. Интересен следующий факт: первые системы телеграфной связи строились так, чтобы обеспечить потребности в обмене информацией сети железнодорожного транспорта. Например, в Москве первая телеграфная станция была открыта в здании вокзала, соединяющего первопрестольную со столицей. В 1852 году работали всего два телеграфных аппарата. Один использовался для нужд железной дороги, а второй – для передачи правительственных и частных сообщений. В июне 1866 года был проложен кабель через Атлантический океан. Европу и Северную Америку связала линия телеграфной связи. Построению сети телеграфной связи посвящена следующая лекция.

Вскоре после становления телеграфной связи начались эксперименты по передаче факсимильных сообщений. Шотландский физик Александр Бэйн в 1843 году продемонстрировал оригинальную конструкцию терминала, который передавал изображения. Аппарат А. Бэйна считается первым

(правда, весьма примитивным) факсимильным аппаратом. В 1855 году итальянец Джованни Казелли разработал "Пантелеграф", который передавал изображения по сетям телеграфной связи. "Пантелеграф" использовался во Франции и в России. В дальнейшем факсимильная связь стала ориентироваться на использование телефонных сетей.

Принято считать, что развитие телефонной связи в мире началось 14 февраля 1876 года. В этот день в 11 часов была зарегистрирована заявка Александра Грэхема Белла на изобретение электромагнитного телефона. Из истории развития техники известно, что похожие изобретения были сделаны задолго до 1876 года. По крайней мере, еще в 1837 году зафиксированы попытки передачи речи при помощи электричества. Телефон быстро нашел практическое применение. Уже в 1878 году в городе Нью-Хейвен (США) открылась первая в мире телефонная станция.

Интерес к изобретению А.Г. Белла был проявлен учеными и инженерами многих стран и, в том числе, российскими специалистами. В 1883 году русский инженер П.М. Голубицкий разработал усовершенствованный микрофон с угольным порошком. В 1885 году он предложил способ питания микрофонов телефонных аппаратов от центральной батареи. В 1887 году инженер К.М. Мосцицкий разработал автоматическую телефонную станцию (АТС) малой емкости. В мастерской Одесского университета в 1893 году был собран макет АТС с шаговыми искателями С.М. Бердичевским-Апостоловым и М.Ф. Фрейденбергом. Ими был получен патент на АТС с шаговыми искателями в Великобритании и США.

Первые телефонные станции в России были построены на ряде заводов Уфимской губернии в 1880 году для частного применения. Городские телефонные станции появились в 1882 году в Санкт-Петербурге, Москве и Одессе, а в 1885 году – в Киеве. Построенная на однопроводных коммутаторах московская телефонная станция к 1916 году достигла емкости 60000 номеров. Контроль государства в области телефонной связи начался в 1881 году. Правительство утвердило "Основные условия устройства и эксплуатации городских телефонных сообщений".

Газета "Санкт-Петербургские ведомости", выпуск 12 июля 1997 года, накануне 115 годовщины установления первого соединения между абонентами столицы Российской Империи опубликовала любопытную информацию. В 1908 году в Санкт-Петербурге насчитывалось 16990 абонентов. Еще 417 человек ожидали своей очереди на установку телефона, внеся 25 рублей в качестве аванса. Каждый десятый из них ждал уже второй год. В 1906 году плата за телефон была следующей: 49,5 рублей в месяц за индивидуальный (заработная плата высококвалифицированного рабочего),

65 рублей за коллективный (например, в подъезде дома) и 71,5 рублей за так называемый "публичный" (в магазине или конторе).

Развитие кабельной техники началось несколько раньше, так как организация линий связи потребовалась при создании телеграфной сети. Опыт организации телеграфной связи был использован и при создании телефонных сетей. В 1882 году построена первая междугородная линия связи между Санкт-Петербургом и Гатчиной (ее длина составила 45 километров) для "переговоров высочайших особ" и слушания опер из Мариинского театра. Аппаратура русского изобретателя Е.И. Гвоздева нашла применение при организации телефонной связи между городами Одесса – Николаев (1893 год) и Ростов – Таганрог (1895 год).

7 мая 1895 года российский ученый Александр Степанович Попов продемонстрировал устройство, которое он назвал "грозоотметчиком". Данное устройство позволяло регистрировать электромагнитные волны. Многие специалисты считают грозоотметчик А.С. Попова первым в мире аппаратом беспроводной телеграфии. В 1897 году при помощи своих устройств А.С. Попов продемонстрировал обмен сообщениями между береговой службой и военным кораблем. Через два года А.С. Попов разработал приемник электромагнитных волн, где для получения сигналов, которые передавались азбукой Морзе, использовались головные телефоны. Еще через год изобретение А.С. Попова помогло провести спасательные работы при снятии с мели у острова Гогланд военного корабля "Генерал-адмирал Апраксин".

Работы по использованию радиосвязи практически в то же время проводил итальянский изобретатель Гулиельмо Маркони. В 1896 году он подал патент "об улучшениях, произведенных в аппарате беспроводной телеграфии". Устройство, созданное Г. Маркони, во многом повторяло идеи А.С. Попова, уже опубликованные в научной литературе. Несомненна заслуга в развитии системы беспроводного телеграфа через Атлантический океан. Первые работы в этом направлении дали результат уже в 1901 году.

В середине XIX века стала очевидной необходимость установить ряд правил для обеспечения взаимодействия национальных сетей электросвязи. В 1865 году в Париже собрались делегации нескольких стран, которые учредили Международный телеграфный союз. После длительных и сложных переговоров 17 мая было подписано первое международное соглашение по телеграфной связи. В 1969 году было принято решение отмечать день 17 мая как "День электросвязи".

Первые системы электросвязи положили начало новой эры в реализации коммуникативных потребностей. Затем появилось звуковое и телевизионное вещание, передача данных, мобильная связь, которые в значительной мере базировались на теоретических и практических достижениях XIX века.

#### **1.4 Система телефонной связи**

Телефон был изобретен в 1876 году. Правда, задолго до изобретения телефона твердую уверенность в возможности общения людей, невзирая на большие расстояния, выразил Леонардо да Винчи: "Люди будут разговаривать друг с другом из самых отдаленных стран и друг другу отвечать". Пророчество гения в полной мере сбылось в XX веке.

Понятие "система телефонной связи" обычно относится к базовым принципам создания, эксплуатации и развития телефонной сети. Эти принципы обычно включают следующие положения:

- назначение системы;
- поддерживаемые услуги;
- структура сети;
- показатели качества обслуживания;
- план нумерации;
- организация технической эксплуатации;
- требования к оборудованию;
- основные направления развития системы.

Разработка перечисленных выше системных принципов позволяет перейти к практическим задачам построения телефонной сети. Сети телефонной связи классифицируются различными способами. В первую очередь, следует выделить телефонную сеть общего пользования (ТФОП), предназначенную для обслуживания основной части потенциальных абонентов. В отличие от сетей специального назначения и корпоративных к ТФОП имеют право подключиться любые абоненты, которые обязуются соблюдать совокупность заранее заданных правил технического, правового и экономического характера. В этой лекции рассматривается тот фрагмент ТФОП, который обеспечивает так называемую фиксированную телефонную связь. Аспекты мобильной связи будут изложены в следующей лекции.

#### **1.5. Основные термины, используемые для описания ТФОП**



Большинство объяснений рассматриваемых ниже терминов заимствовано из двух источников:

- рекомендации Международного Союза Электросвязи (МСЭ) и стандарты Европейского Института Телекоммуникационных Стандартов ETSI (European Telecommunications Standards Institute);
- научно-техническая литература, прямо или косвенно связанная с терминологическими вопросами.

Для введения базовых терминов целесообразно рассмотреть модель гипотетической ТФОП, представленную на рисунке 1. В ее состав входит городская телефонная сеть (ГТС), структура которой типична для крупных городов, и сельская телефонная сеть (СТС). Предложенная модель не включает ряд компонентов, которые не очень существенны с точки зрения терминологии. Модель ГТС состоит из двух узловых районов. Номер узлового района указан в качестве первой цифры всех обслуживаемых коммутационных станций и подключаемых телефонных аппаратов (ТА). В состав каждого узлового района входят узлы исходящего (УИС) и входящего (УВС) сообщения. Если коммутационное оборудование используется в качестве УИС и УВС, то оно называется узлом исходящего и входящего сообщения (УИВС).

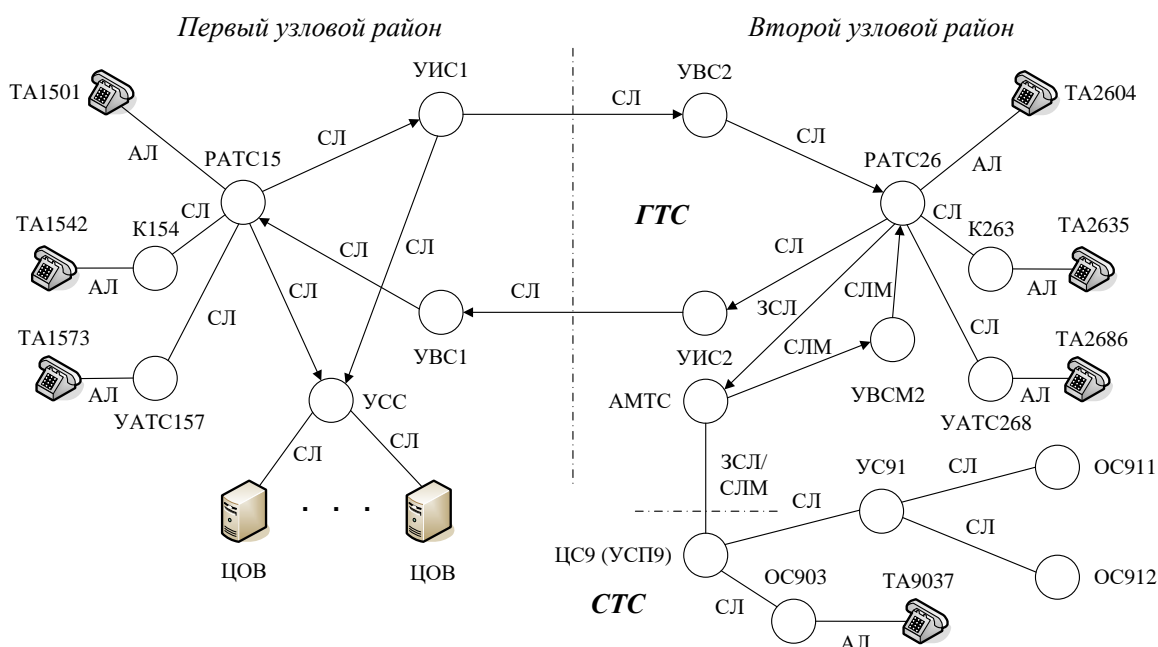


Рис. 1. Модель гипотетической ТФОП

В левой части модели показана всего одна районная АТС (РАТС). Ей присвоен двухзначный номер "15". Первая цифра идентифицирует номер узлового района, а вторая – порядковый номер коммутационной станции. Терминалы абонентов подключены к пятой РАТС первого узлового района тремя способами. Первый из терминалов (ТА1501) соединяется с РАТС индивидуальной абонентской линией (АЛ). Цифра "0" в третьей позиции означает отсутствие промежуточных устройств коммутации между данным терминалом и РАТС. Вторым терминалом (ТА1542) включен в четвертый концентратор (К). Он связан с РАТС15 пучком соединительных линий (СЛ). В том случае, когда соединение по СЛ устанавливается только в одну сторону, соответствующая линия на всех рисунках снабжается стрелкой. Третий терминал (ТА1573) включен в учрежденческую АТС (УАТС), которой присвоен седьмой номер среди аналогичных устройств коммутации, расположенных в зоне обслуживания РАТС15.

Для РАТС15 показаны также два варианта выхода к узлу спецслужб (УСС). Он обеспечивает выход к экстренным и информационно-справочным службам, которые организованы в городе. УСС анализирует номер, набранный абонентом, и устанавливает соединение с соответствующим центром обслуживания вызова (ЦОВ).

Для второго узлового района показаны принципы связи РАТС26 с автоматической междугородной телефонной станцией (АМТС). Исходящее междугородное соединение устанавливается по пучку заказно-соединительных линий (ЗСЛ). Для входящей связи от АМТС создается узел входящего междугородного сообщения (УВСМ). Он связан с АМТС и РАТС пучком соединительных линий междугородной связи (СЛМ).

Правый нижний фрагмент иллюстрирует общие принципы построения СТС. В каждом сельском административном районе устанавливается центральная станция (ЦС) или узел сельско-пригородной связи (УСП). Их различие заключается в том, что на ЦС возложены также функции городской АТС районного центра. Для девятой ЦС показаны принципы включения оконечных станций (ОС). Различают радиальную и радиально-узловую схемы построения СТС. В частности, третья ОС включена по радиальной схеме. Цифра "0" во второй позиции ее номера указывает на отсутствие узловой станции (УС) между ЦС и ОС. Первая и вторая ОС включены по радиально-узловой схеме. Они связаны с УС, которая обеспечивает установление соединений между абонентами разных ОС, а также выход в ЦС.

Приведенные термины и их аббревиатуры содержатся в словарях, которые входят в состав ряда руководящих документов по построению национальной телекоммуникационной системы. Целесообразно выделить такие терминологические различия в области телефонной связи:

1. В зарубежной научно-технической литературе используется общий термин для РАТС в ГТС и ОС в СТС. Чаще всего встречается термин "Central Office" (CO), реже – "Local Exchange" (LE). Приемлемым переводом можно считать словосочетание "Местная станция". Вынос абонентской емкости отечественные специалисты именуют подстанцией (ПС), концентратором. Встречается также термин "вынос". Кроме того, для подстанций часто акцентируется внимание на возможность замыкания внутреннего трафика без привлечения ресурсов вышестоящей АТС. В технической литературе на английском языке преимущественно используется один термин – "Концентратор".

2. Узлы УИС, УВС, УИВС в ГТС и станция УС в СТС в большинстве публикаций на английском языке чаще объединяются под общим названием "Transit Exchange" (TE). Реже используется термин "Tandem Exchange".

3. Отдельные названия для пучков каналов (СЛ, ЗСЛ, СЛМ и другие) в англоязычной технической литературе не вводятся, а особенности их применения объясняются – при необходимости – в тексте.

Цифровизация ТФОП потребовала пересмотра ряда принципов построения ГТС и СТС. Они стали широко применяться в отечественной технической литературе, посвященной, в первую очередь, вопросам построения цифровых ГТС. Вместо аббревиатуры РАТС чаще стало встречаться сокращение ОПС – опорная станция. Кстати, опорная станция – один из возможных переводов термина "Local Exchange". Был предложен термин "Транзитная станция" (ТС), уже устоявшийся в англоязычной технической литературе. Цифровое коммутационное оборудование позволяет строить комбинированные станции, то есть ТС и ОПС. Они получили определение "Опорно-транзитные станции" (ОПТС).

Сближение терминов, используемых в отечественной и в зарубежной литературе, позволяет решить ряд серьезных проблем, обеспечить лучшее взаимопонимание между специалистами. В трех столбцах таблицы 1 приведены основные аббревиатуры, часто используемые в технической литературе по телефонии. В последнем столбце содержатся предложения по терминам, перспективным для дальнейшего применения.

Таблица 1. Примеры унификации терминов, используемых в телефонии

Российская ТФОП		Зарубежн ая ТФОП	Предлагаемый унифицированный термин для российской ТФОП
Аналоговая	Цифровая		
ПС, К	ПС, К	С	Концентратор (К)
РАТС, ОС	ОПС	СО, LE	Местная станция (МС)
УИС, УВС, УИВС, УС	ТС, ОПТС	ТЕ	Транзитная станция (ТС)
СЛ, ЗСЛ, СЛМ	СЛ, ЗСЛ, СЛМ	trunk	Соединительная линия (СЛ)

### 1.6. Иерархические уровни в ТФОП

В любой крупной сети принято выделять иерархические уровни. Такое выделение можно рассматривать как классификацию по определенному признаку (таксону). На фронтальной грани куба, изображенного на рисунке 2, перечислены основные уровни иерархии, которые свойственны ТФОП. На боковой грани куба выделены два компонента (коммутируемая и транспортная сети), которые можно выделить для всех иерархических уровней ТФОП с точки зрения решаемых функциональных задач. Верхняя грань, при необходимости, может быть использована для введения дополнительной классификации по каким-либо другим признакам.

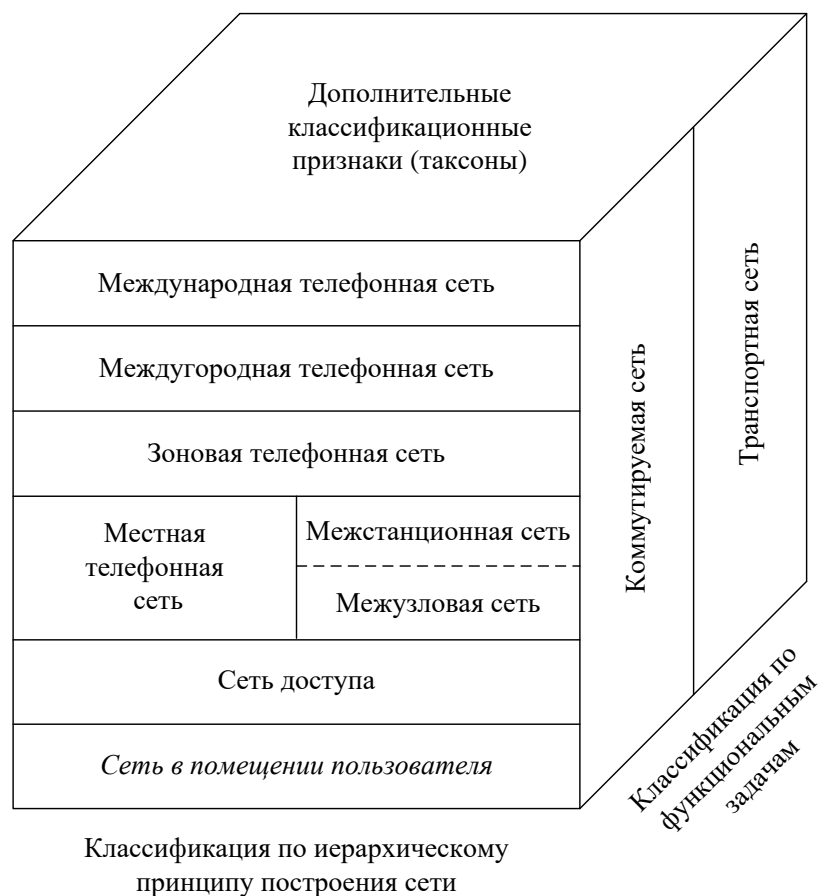


Рис. 2. Иерархические уровни в ТФОП

В качестве нижнего уровня иерархии показана сеть в помещении пользователя. Строго говоря, ее создание и поддержка не входят в компетенцию Оператора ТФОП. Такой подход можно считать оправданным в тех случаях, когда то, что названо "сетью в помещении пользователя", представляет собой телефонный аппарат или терминал любой сложности в совокупности с абонентской проводкой. Многие современные предприятия используют УАТС, локальную вычислительную сеть (ЛВС) и телекоммуникационные системы поддержки бизнес-процессов. В подобных случаях компонент "сеть в помещении пользователя" целесообразно включать в состав уровней иерархии ТФОП.

Следующий иерархический уровень – сеть доступа. Ее анализ не входит в перечень вопросов, рассматриваемых в этой лекции. Поэтому достаточно упомянуть, что сеть доступа служит "связующим звеном" между двумя иерархическими уровнями. Ее задача состоит в организации связи между оборудованием пользователя и базовой сетью.

Базовая сеть на рисунке 2 разделена на четыре иерархических уровня. Нижний из этих уровней соответствует местной (городской или сельской) телефонной сети. ГТС создается в границах города, а СТС – на территории сельского административного района. В ряде ГТС и СТС, в свою очередь, можно выделить два уровня иерархии. На рисунке 3.2 они обозначены как сети межстанционной и межузловой связи.

Зоновая телефонная сеть обычно создается в границах крупного административного района. Отличительный признак зонной телефонной сети – присвоение ей уникального кода для междугородной связи, обозначаемого буквами АВС.

Типичная зонная сеть состоит из нескольких местных сетей – ГТС и СТС. Между собой местные сети связаны каналами внутризонной связи. Эти каналы коммутируются в АМТС или в зонном телефонном узле (ЗТУ).

На следующем уровне иерархии ТФОП расположена междугородная телефонная сеть. Она обеспечивает связь между зонными телефонными сетями. Кроме того, в задачи междугородной телефонной сети входит обеспечение доступа к международным центрам коммутации (МЦК). Эти центры представляют собой элементы верхнего уровня иерархии ТФОП – международной телефонной сети.

## **1.7. Городские телефонные сети**

В конце XIX и в начале XX века все ГТС создавались за счет установки всего одной телефонной станции. Рост числа сетей привел к необходимости установки второй, третьей и последующих телефонных станций. Тем не менее, в небольших городах часто функционирует одна АТС – рисунок 3. Такие сети называют нерайонированными. При использовании декадно-шаговых и координатных АТС такой способ построения ГТС считался рациональным, если максимальное количество обслуживаемых абонентов не превышало 8000. Применение цифровых коммутационных станций позволяет экономично строить нерайонированные ГТС емкостью в несколько десятков тысяч номеров. В этом случае в составе АТС используются выносные модули – концентраторы.

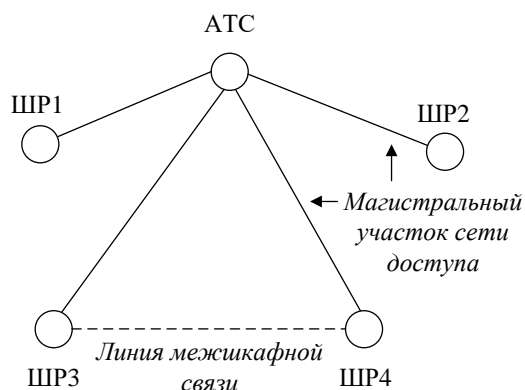


Рис. 3. Существующая нерайонированная городская телефонная сеть

Нерайонированная ГТС состоит из коммутационной станции и сети доступа. На рисунке 3 показаны четыре распределительных шкафа (ШР). Между каждым шкафом и АТС проложены магистральные кабели. Обычно применяются многопарные абонентские кабели. Этот фрагмент сети доступа называется магистральным участком. Обычно на магистральном участке сети доступа формируется звездообразная топология. В некоторых случаях используются линии межшкафной связи. На рисунке 3 такая линия показана между третьим и четвертым шкафами. Наличие линий межшкафной связи позволяет в перспективе перейти к кольцевой структуре сети доступа. Такая топология обеспечивает высокую надежность связи концентраторов с АТС.

На рисунке 4 изображены две структуры перспективной нерайонированной ГТС, в которой установлена цифровая АТС. Здесь и далее кружки, соответствующие цифровым АТС, окрашены темным цветом. Фрагмент (а) иллюстрирует принципы построения транспортной сети, которая представлена в виде совокупности трех колец. Нулевой СУ располагается в здании АТС. Номера всех остальных СУ совпадают с номерами тех концентраторов, для которых они формируют транспортные ресурсы в виде стандартных цифровых трактов. Выбор числа СУ и мест их размещения – одна из классических задач проектирования телекоммуникационных сетей.

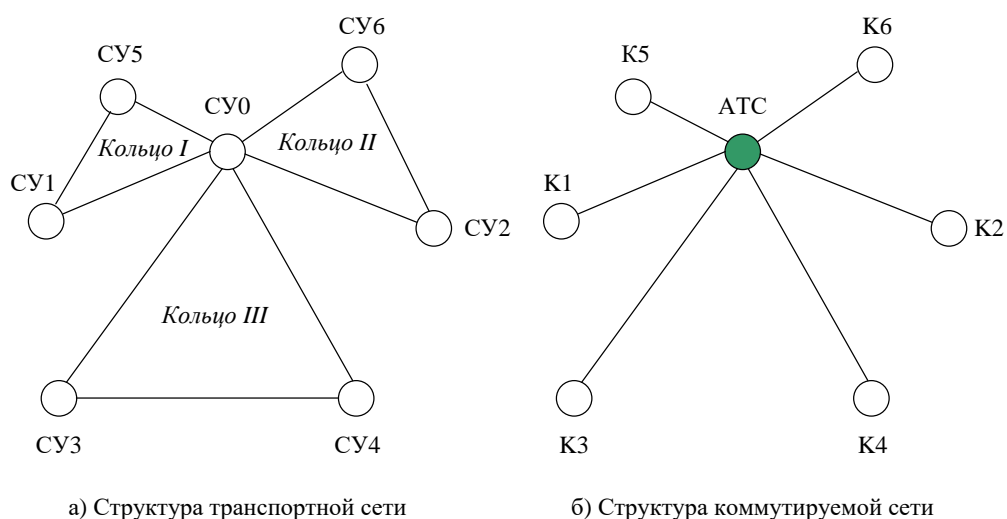


Рис. 4. Перспективная нерайонированная городская телефонная сеть

Структура коммутируемой сети показана в правой части рисунка 3.4 – фрагмент (б). Она представляет собой топологию типа "звезда". Очевидно, что между АТС и каждым концентратором благодаря кольцевой структуре транспортной сети существуют два независимых (с точки зрения надежности) пути обмена информацией. Построение ГТС с применением выносных концентраторов имеет ряд преимуществ, среди которых следует выделить сокращение средней длины АЛ (что уменьшает затраты на построение сети доступа и упрощает введение ряда новых услуг) и снижение затрат на обновление версий программного обеспечения цифровой АТС.

Использование одной коммутационной станции в городах со средней и большой площадью  $S$  привело к заметному росту длины АЛ –  $l$ . Например, для города, форма которого представима квадратом, справедливо следующее соотношение:

$$l \approx 0,388\sqrt{S}. \quad (3.1)$$

Очевидно, что для крупных городов, территория которых измеряется сотнями квадратных километров, длина АЛ становится такой, что по затуханию и сопротивлению шлейфа ее использование становится принципиально невозможным. Разумный выход из такого положения – установка нескольких АТС. Деление территории на фрагменты, в каждом из которых устанавливается АТС, называется районированием. Эти АТС стали именоваться районными. Отсюда и сокращение – РАТС.



На рисунке 5 показан пример районированной сети, в которой установлены пять РАТС. Все пять коммутационных станций связаны между собой по принципу "каждая с каждой". В период развития ГТС на базе декадно-шаговых и координатных АТС такой способ построения сети использовался, если максимальное количество обслуживаемых абонентов не превышало 80000. При цифровизации ГТС такая структура межстанционной связи может применяться для создания значительной части местных телефонных сетей. Исключением могут стать ГТС в мегаполисах. Естественно, что в составе каждой АТС используются выносные концентраторы.

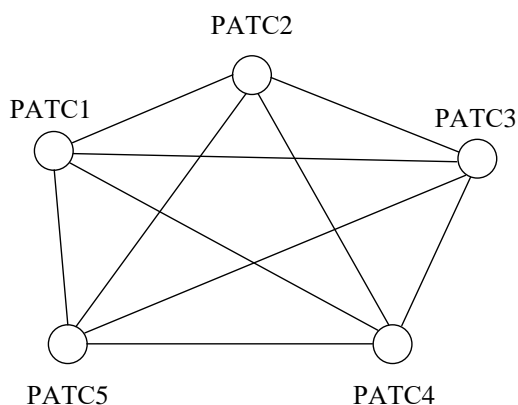


Рис. 5. Районированная городская телефонная сеть

ГТС одной и той же емкости может быть построена за счет установки различного числа РАТС. При этом средняя емкость РАТС меняется. На рисунке 6 приведены типичные кривые, иллюстрирующие изменение стоимости сети, приведенной к одному номеру в зависимости от емкости РАТС. Все кривые носят качественный характер. Их расположение друг относительно друга не отражает уровень затрат на каждый из трех основных компонентов телефонной сети.

Верхняя кривая на рисунке 6 соответствует суммарным затратам за один номер местной телефонной сети. Очевидно, что существует минимум этих затрат, который достигается при величине емкости РАТС, которую следует считать оптимальной.

Количество пучков СЛ в сетях, построенных по принципу связи коммутационных станций "каждая с каждой",  $K$  определяется числом установленных РАТС –  $N$  :

$$K = \frac{N(N-1)}{2}. \quad (3.2)$$

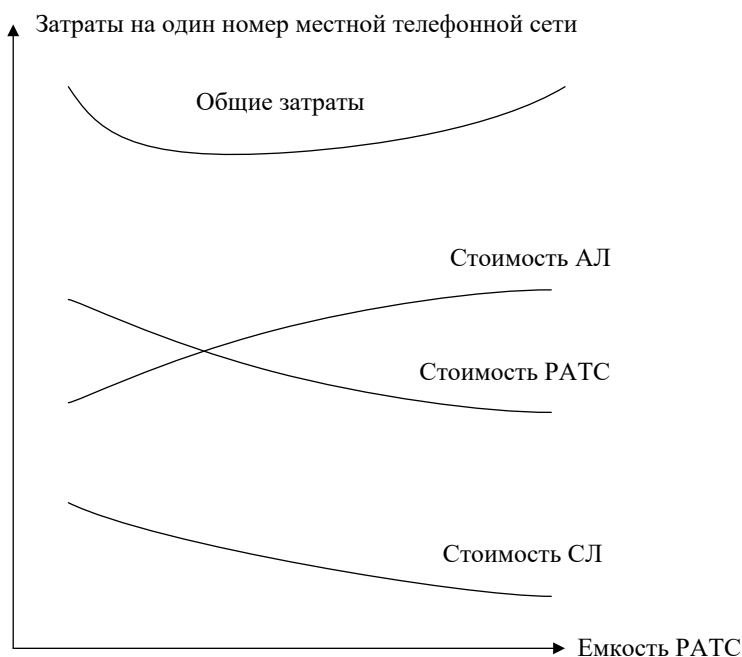


Рис. 6. Изменение затрат на один номер РАТС

При значительном числе РАТС количество пучков СЛ становится чрезмерно большим. Их емкость невелика, что приводит к низкому использованию каждой СЛ. Транспортной сетью с большим количеством пучков СЛ сложнее управлять. При построении ГТС на базе декадно-шаговых и координатных станций при емкости сети свыше 80000 номеров самой экономичной была признана структура связи РАТС через УВС. Пример сети с УВС показан на рисунке 7. Предполагается, что в составе ГТС выделено два узловых района. В первом узловом районе расположены три РАТС. Для станции под пятнадцатым номером показаны три типичных варианта включения телефонных аппаратов. Во втором узловом районе установлены две РАТС. Все РАТС одного узлового района связаны между собой по принципу "каждая с каждой".

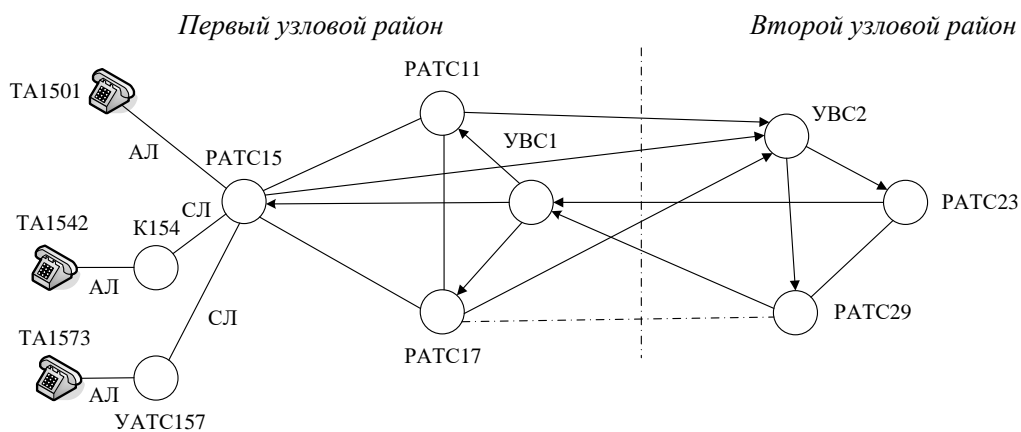


Рис. 7. Городская телефонная сеть с узлами входящего сообщения

При большом взаимном тяготении и технической возможности между некоторыми РАТС разных узловых районов могут использоваться прямые (не проходящие через УВС) пучки СЛ. Такой вариант показан штрихпунктирной линией для РАТС17 и РАТС29.

Для обеспечения высокой надежности сети оборудование УВС устанавливается, как минимум, на двух площадках. Эти площадки расположены в зданиях, где размещается оборудование РАТС.

В крупных городах применение УВС не обеспечивало экономичное построение телефонных сетей. В результате проведенных исследований было установлено, что при емкости ГТС свыше 800000 номеров целесообразно использовать узлы двух типов: УИС и УВС. Оборудование УИС и УВС в каждом узловом районе для повышения надежности связи разносилось, как минимум, на две площадки.

Типичная структура сети с УИС и УВС приведена на рисунке 3.8. Показаны два узловых района. В первом узловом районе изображена только одна РАТС. Для нее, как и на предыдущем рисунке, проиллюстрированы три основных варианта включения терминалов. Во втором узловом районе насчитывается три РАТС. Они связаны между собой по принципу "каждая с каждой". Пучок СЛ между УИС2 и УВС обеспечивает также еще один маршрут установления соединения между РАТС второго узлового района. Этот маршрут проходит через УИС2 и УВС2.

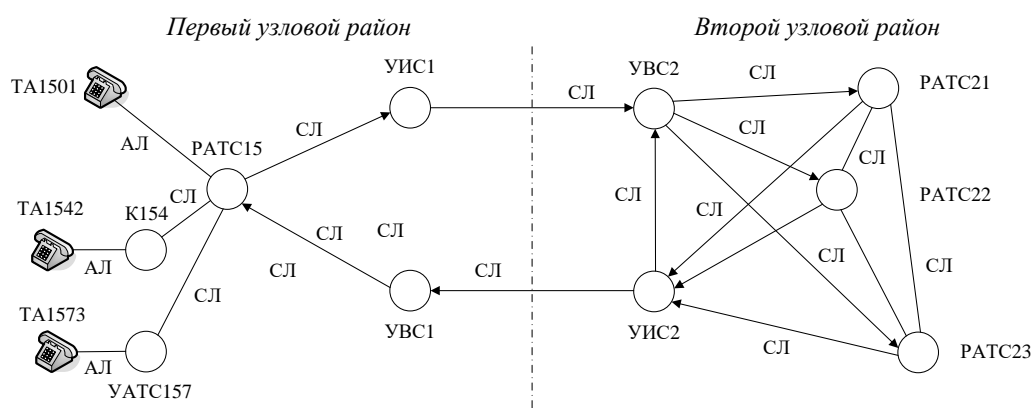


Рис. 8. Городская телефонная сеть с узлами исходящего и входящего сообщения

Выбор оптимального количества узловых районов и определение их границ для территории города – сложная задача, для решения которой используются современные экономико-математические методы.

### 1.8. Сельские телефонные сети

Назначение каждой СТС состоит в том, чтобы обеспечить обслуживание абонентов, которые располагаются в границах одного сельского административного района. На начальном этапе развития СТС одной из главных задач считалась организация внутрипроизводственной телефонной связи, что предопределило применение коммутационных станций малой емкости. Примерно 88% емкости российской ТФОП установлено в городах. По количеству эксплуатируемых АТС статистика иная. Свыше 60% всех коммутационных станций установлено в сельской местности.

Еще одна важная особенность СТС заключается в том, что ее ресурсы (в основном, речь идет о транспортной сети) активно использовались для телеграфной связи, подачи программ звукового вещания и обмена данными. Типичная структура СТС приведена на рисунке 9. Она иллюстрирует два используемых в СТС способа связи между ОС и ЦС: радиальный и радиально-узловой. ОС902 и ОС903 соединены с ЦС непосредственно. Этот способ связи называется радиальным. ОС911 и ОС912 включены в УС, что соответствует радиально-узловой схеме.

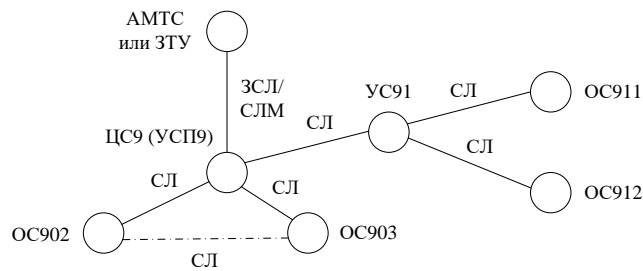


Рис. 9. Структура типичной сельской телефонной сети

Штрихпунктирной линией на рисунке 3.9 показан прямой пучок СЛ между двумя ОС. Такая возможность предусмотрена принципами построения системы сельской связи, но на практике используется очень редко.

В ряде руководящих документов встречался термин "комбинированная сеть". Он использовался для того, чтобы отметить возможность создания в районном центре ГТС. Тогда на территории сельского административного района формально сосуществуют и СТС, и ГТС. В официальных документах, опубликованных в последние годы, термин "комбинированная сеть" не используется.

### 1.9. Сети дальней связи

Термин "зоновая телефонная сеть" появился как следствие разработки системы и плана нумерации ТФОП. Термин "зоновая сеть" не встречается в зарубежной технической литературе. Тем не менее, его использование в руководящих документах Администрации связи России можно считать логичным. На рисунке 10 изображены основные компоненты зоновой телефонной сети, подтверждающие целесообразность выделения одноименного уровня иерархии в ТФОП. Важнейшим компонентом зоновой телефонной сети считается ГТС, расположенная в центре крупного административного района. Для России таким районом является субъект Федерации. Пучками ЗСЛ и СЛМ эта сеть связана с ГТС всех крупных городов, которые – административно – обычно подчиняются центру субъекта Федерации. На рисунке 3.10 предполагается, что в составе субъекта Федерации создано  $K$  таких ГТС. С центром субъекта Федерации связаны также  $L$  сельских сетей. В их состав входят и ГТС районных центров. При большом взаимном тяготении между ГТС крупных городов и ЦС некоторых

сетей сельской связи могут создаваться прямые пучки ЗСЛ/СЛМ. На рисунке 10 такой пучок ЗСЛ/СЛМ показан для  $k$ -ой ГТС и первой СТС.

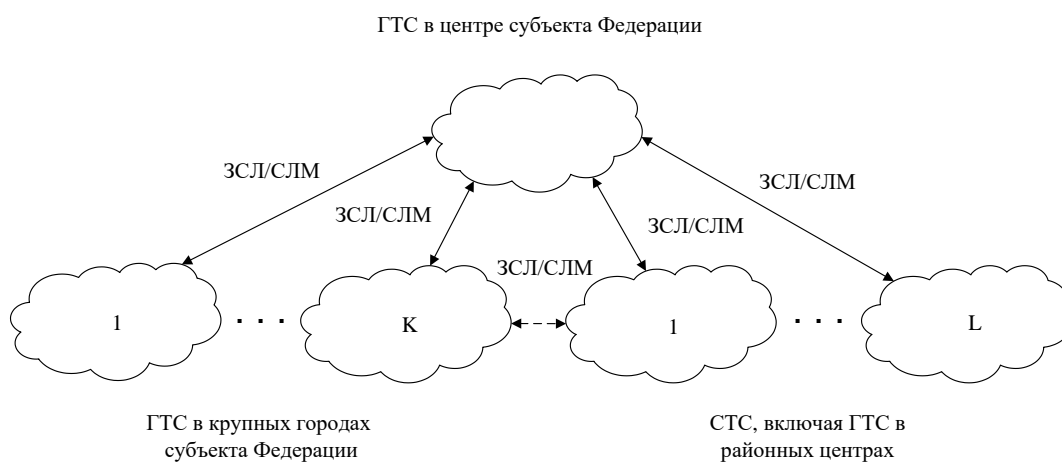


Рис. 10. Основные компоненты зонной телефонной сети

На рисунке 11 показаны основные виды соединений, устанавливаемые в сети внутризональной телефонной связи. Эти соединения можно проиллюстрировать для трех терминалов, включенных в РАТС, ЦС и одну из ОС.

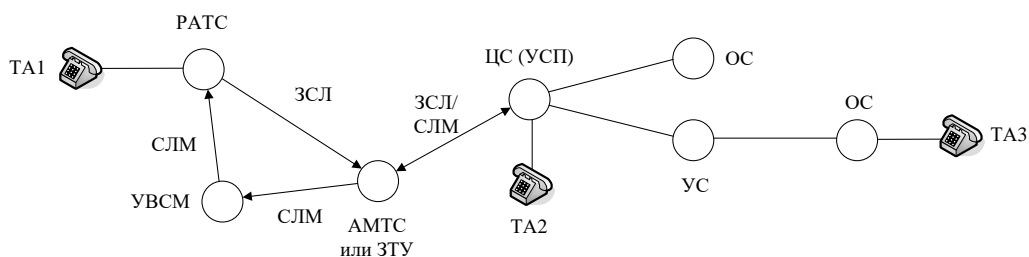


Рис. 11. Виды соединений при внутризональной телефонной связи

При установлении соединения между ТА1 и ТА2 тракт обмена информацией будет установлен через РАТС, АМТС (либо ЗТУ) и ЦС. В данном случае в ГТС райцентра подразумевается установка ЦС. Если в СТС используется УСП, то ТА2 включается в одну из РАТС, входящих в состав ГТС районного центра. При установлении соединения между ТА1 и ТА3 разговорный тракт

проходит через пять коммутационных станций: РАТС, АМТС (либо ЗТУ), ЦС (либо УСП), УС и ОС. Соединение между ТА2 и ТА3 осуществляется в пределах СТС.

В течение XX века междугородная и международная телефонная связь в России предоставлялась одним Оператором. В начале XXI века началась демонополизация рынка междугородной и международной телефонной связи. Связь абонентов, включенных в разные ГТС ("А" и "В" на рисунке 12), может осуществляться через несколько сетей междугородной связи, которые эксплуатируются разными Операторами. Для рассматриваемой модели изображено  $M$  сетей междугородной связи.

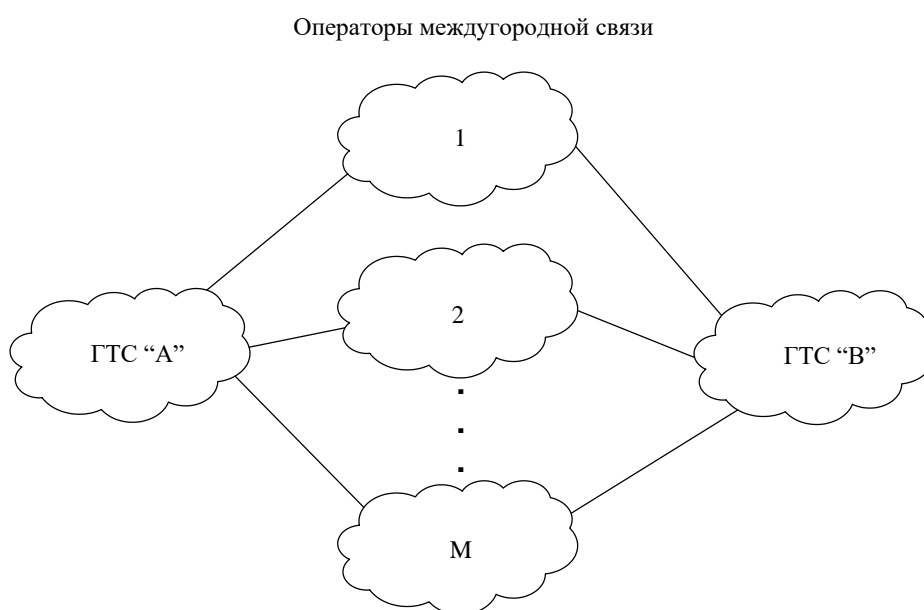


Рис. 12. Современные принципы организации междугородной телефонной связи

Целесообразно выделить два важных аспекта междугородной телефонной связи. Во-первых, Россия расположена в десяти часовых поясах. Поэтому для некоторых субъектов Федерации комфортный период времени для телефонных разговоров существенно меньше, чем аналогичная величина в местных сетях. Во-вторых, соотношение капитальных затрат на коммутационные станции и соединяющие их каналы (вместе с системами передачи), как правило, существенно различается для сетей междугородной и местной связи. В частности, при построении ГТС основная доля инвестиций Оператора направляется на приобретение и установку коммутационного

оборудования. При построении междугородной телефонной сети (особенно между городами, существенно удаленными друг от друга) основная доля затрат Оператора приходится на каналы между коммутационными станциями. Поэтому оптимизационные задачи, решаемые при построении междугородной и местных сетей, имеют определенные различия.

Каждая из  $M$  сетей междугородной телефонной связи строится различными способами. Тем не менее, все Операторы руководствуются идентичными соображениями. Поэтому структуры этих сетей будут похожи. Этот вывод позволяет остановиться на анализе структуры междугородной телефонной связи, созданной до монополизации рынка дальней связи. Ее модель приведена на рисунке 13. Она иллюстрирует возможные пути для установления соединения между абонентами, находящимися в городах "А" и "В". Для рассматриваемого фрагмента ТФОП показан участок между двумя АМТС. Кроме двух АМТС показаны также узлы автоматической коммутации (УАК), выполняющие функции транзитных станций. Обязательные направления связи выделены сплошными линиями. Пунктирные и штрихпунктирные линии соответствуют тем направлениям связи, которые создаются при соответствующем технико-экономическом обосновании.

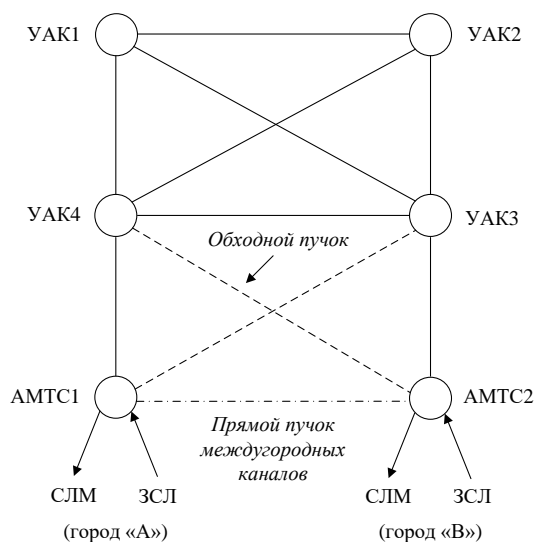


Рис. 13. Структура эксплуатируемой междугородной телефонной связи

Все УАК соединяются между собой по принципу "каждый с каждым". Любая АМТС должна быть связана, как минимум, с двумя УАК. При значительном трафике между АМТС может организовываться прямой пучок



междугородных каналов. Обычно емкость таких пучков рассчитывается при высокой вероятности потерь. Тогда прямые пучки используются весьма продуктивно, а избыточная нагрузка обслуживается за счет обходных путей. Среди возможных маршрутов выделяют путь последнего выбора (ППВ). Он выбирается в том случае, когда соединение не может быть установлено по иному, более "короткому", пути. Обычно ППВ проходит через два УАК.

Модель, показанная на рисунке 3.13, позволяет выделить возможные варианты установления соединения между абонентами, включенными в ГТС городов "А" и "В". Между двумя АМТС могут быть установлены такие виды соединений:

- АМТС1 – АМТС2 (если существует прямой пучок каналов);
- АМТС1 – УАК4 – АМТС2 (если существует обходной пучок каналов);
- АМТС1 – УАК3 – АМТС2 (если существует обходной пучок каналов);
- АМТС1 – УАК4 – УАК3 – АМТС2.

Последним маршрутом следует считать ППВ. Это означает, что транзитные соединения через три УАК (например, АМТС1 – УАК4 – УАК3 – АМТС2) не предусматриваются. В настоящее время практически все АМТС и УАК в российской ТФОП построены на базе современного цифрового коммутационного оборудования. Цифровизация трактов между коммутационными станциями и узлами междугородной телефонной сети осуществляется медленнее.

Трафик дальней связи постоянно растет, что стимулирует организацию множества прямых пучков междугородных каналов. Иерархические принципы, использованные при формировании структуры междугородной сети, могут оказаться малоэффективными. В частности, некоторые Операторы дальней связи, работающие в странах с небольшой территорией, стали использовать неиерархические сети. В них используются АМТС двух видов: оконечные и оконечно-транзитные.

Фрагмент такой сети, состоящей из пяти оконечно-транзитных и одной оконечной АМТС, показан на рисунке 14. Изменение структуры междугородной телефонной сети в России будет определяться множеством различных факторов. Из этих факторов следует выделить технико-экономическую целесообразность создания прямых пучков каналов междугородной связи и влияние технической политики Операторов межрегиональных компаний (МРК), создающих и эксплуатирующих

фрагменты ТФОП в границах, которые, в основном, определяют территории Федеральных округов.

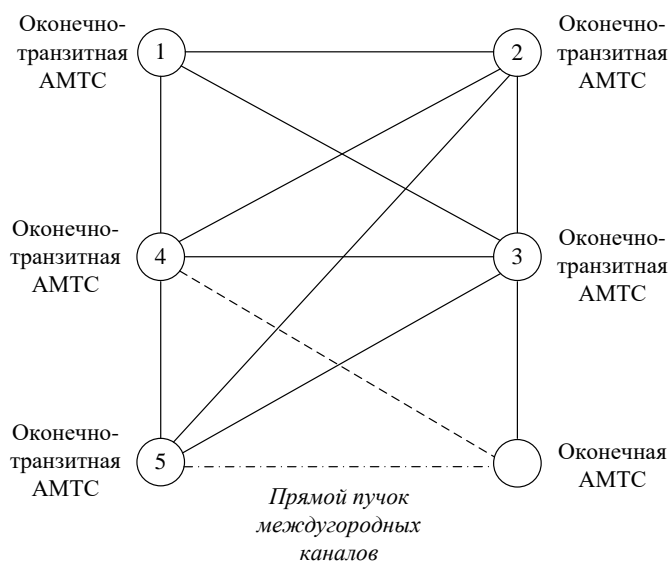


Рис. 14. Структура перспективной междугородной телефонной связи

Целесообразность создания прямого пучка каналов между каждой парой АМТС определяется в результате анализа количества телефонных разговоров и их длительности в течение определенного времени. Как правило, чем больше субъекты Федерации удалены друг от друга, тем меньше целесообразность организации прямого пучка каналов между соответствующими АМТС.

Общие принципы организации международной телефонной связи показаны на рисунке 15. Рассматриваемая модель содержит три МЦК. Эти центры размещаются в трех разных странах. Связь между МЦК, расположенными в странах "А" и "В", может осуществляться по прямому пучку международных каналов или через транзитный центр, который находится в стране "С".

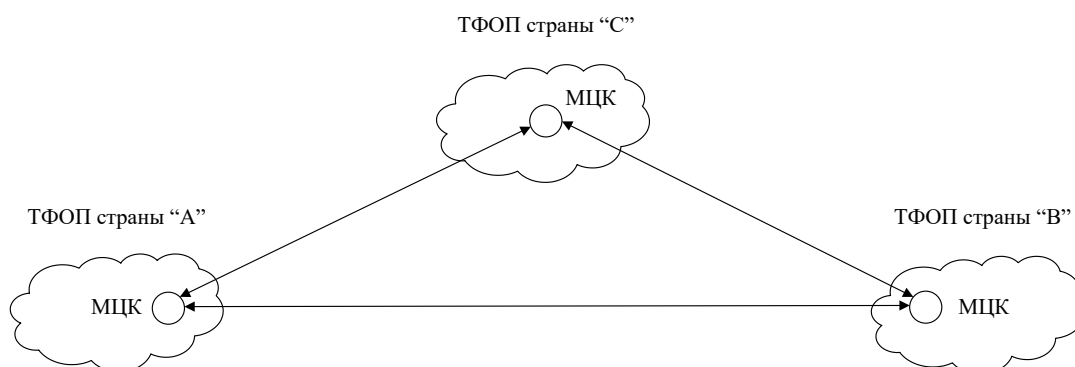


Рис. 15. Связь международных центров коммутации

Прямой пучок каналов создается при значительном числе соединений, которые устанавливаются между терминалами абонентов двух стран. Если результаты технико-экономического анализа не подтверждают целесообразность организации пучка каналов, который напрямую связывает МЦК двух стран, то используется возможность создания транзитных связей. Эти связи могут устанавливаться и в тех случаях, когда прямой пучок международных каналов недоступен. Рекомендация МСЭ Е.171 ограничивает количество транзитных международных каналов между МЦК двух стран. Их должно быть не более четырех. Это означает, что в соединении не должно участвовать более трех транзитных МЦК.

Структуры телефонных сетей всех уровней иерархии постепенно меняются, что обусловлено рядом причин. В первую очередь, следует выделить причины внутреннего характера, связанные с развитием ТФОП. Важнейшей из соответствующих причин можно считать цифровизацию телефонной сети.

Внешние причины изменения структуры ТФОП обусловлены переходом к сети следующего поколения, известной по аббревиатуре NGN – Next Generation Network. Их анализ содержится в лекции, посвященной сети следующего поколения.

### 1.10. Сети мобильной телефонной связи

Спектр частот используется для различных приложений. Эти приложения определены не только для систем связи, но и для других областей применения. В таблице 3 приведен первый вариант классификации частотных диапазонов и указаны основные сферы их применения. Этот вариант классификации чаще используется в англоязычной технической литературе.

Таблица 3. Частотный спектр (вариант I)

Название диапазона	Область частот	Длины волн	Сфера применения
Слышимый	20 Гц – 20 кГц	>100 км	Акустика
Сверхнизкие и очень низкие	3 кГц – 30 кГц	100 км – 10 км	Навигация, метрология, связь

радиочастоты			под водой
Низкие радиочастоты	30 кГц – 300 кГц	10 км – 1 км	Навигация, морская связь
Средние радиочастоты	300 кГц – 3 МГц	1 км – 100 м	Навигация, Радиовещание с амплитудной модуляцией
Высокие радиочастоты	3 МГц – 30 МГц	100 м – 10 м	Радиосвязь в общественном диапазоне
Очень высокие радиочастоты	30 МГц – 300 МГц	10 м – 1 м	Радиолюбительство, радиовещание, телевидение
Сверхвысокие радиочастоты	300 МГц – 3 ГГц	1 м – 10 см	Микроволновая связь, спутниковая связь, телевидение
Super High Frequency (SHF) Radio	3 ГГц – 30 ГГц	10 см – 1 см	Микроволновая и спутниковая связь
Extremely High Frequency (EHF) Radio	30 ГГц – 300 ГГц	1 см – 1 мм	Микроволновая и спутниковая связь
Инфракрасный свет	$10^3 - 10^5$ ГГц	300μ – 3μ	Инфракрасное излучение
Видимый свет	$10^{13} - 10^{15}$ ГГц	1μ – 3μ	Оптическая связь
Рентгеновские лучи	$10^{15} - 10^{18}$ ГГц	$10^3 \mu - 10^7 \mu$	Не используется
Гамма и космические лучи	$>10^{18}$ ГГц	$<10^{-7} \mu$	Не используется

Примечание:  $\mu$  = микрометр (1/1000000 метра).

Иная трактовка спектра частот приведена в таблице 4. Чаще ее можно найти в литературе на русском языке.

Таблица 4. Частотный спектр (вариант II)

Наименование частотного диапазона	Границы диапазона (Гц)	Наименование волнового диапазона	Границы диапазона (м)
Крайние низкие, КНЧ	3 – 30 Гц	Декамегаметровые	100 – 10 Мм
Сверхнизкие, СНЧ	30 – 300 Гц	Мегаметровые	10 – 1 Мм
Инфранизкие, ИНЧ	0,3 – 3 кГц	Гектокилометровые	1000 – 100 км
Очень низкие, ОНЧ (ULF)	3 – 30 кГц	Мириаметровые (СДВ)	100 – 10 км
Низкие частоты, НЧ (LF)	30 – 300 кГц	Километровые (ДВ)	10 – 1 км
Средние, СЧ (MF)	0,3 – 3 МГц	Гектометровые (СВ)	1 – 0,1 км
Высокие частоты, ВЧ (HF)	3 – 30 МГц	Декаметровые (КВ)	100 – 10 м
Очень высокие, ОВЧ (VHF)	30 – 300 МГц	Метровые (УКВ)	10 – 1 м
Ультравысокие, УВЧ (UHF)	0,3 – 3 ГГц	Дециметровые (УКВ)	1 – 0,1 м
Сверхвысокие, СВЧ (SHF)	3 – 30 ГГц	Сантиметровые (УКВ)	10 – 1 см
Крайне высокие, КВЧ (EHF)	30 – 300 ГГц	Миллиметровые (УКВ)	10 – 1 мм
Гипервысокие, ГВЧ	300 – 3000 ГГц	Децимиллиметровые (ОВ)	1 – 0,1 мм

В таблице 5 приведены названия и диапазоны частот, используемые в современной литературе на обоих языках.

Таблица 5. Названия и диапазоны частот

Обозначение диапазона	Частоты
L-band	1,4 – 1,7 ГГц
S-band	1,9 – 2,7 ГГц
C-band low	3,4 – 5,25 ГГц
C-band high	5,725 – 7,075 ГГц
X-band	7,25 – 8,4 ГГц
Ku-band	10,7 – 14,8 ГГц
K-band	15,4 – 27,5 ГГц
Ka-band	27 – 50 ГГц
W-band	65 – 110 ГГц

Простое соотношение, связывающее длину волны в метрах  $L$  и частоту в МГц:  $L = 300 / F$ .

### 1.11. Появление систем сотовой связи

Первые системы мобильной телефонной связи использовались органами охраны правопорядка уже в 20-х годах прошлого века. Сразу же стала очевидна высокая эффективность данного средства обмена информацией. Уровень развития радиотехники в первой половине XX века не позволял надеяться на появление недорогих и компактных терминалов. По этим причинам массового развития мобильной связи не ожидалось.

К концу прошлого века ситуация радикально изменилась. Развитие микроэлектроники и научные исследования в области эффективного построения мобильной связи позволило сформулировать принципы построения соответствующей сети общего пользования. Сначала эта сеть строилась на базе аналоговой техники передачи информации. Затем наступила эра цифровых технологий. Но неизменным остался базовый

принцип построения системы мобильной связи – использование сотовой топологии сети доступа.

### **1.12. Сотовая топология в системе мобильной связи**

Идея сотовой структуры в сети доступа была разработана вследствие ограничения частотного диапазона, доступного для мобильной связи. По мере роста численности пользователей доступный частотный диапазон становится тормозом дальнейшего развития сети.

Известно, что дальность радиосвязи зависит от мощности передатчика, чувствительности приемника и уровня шума. В диапазоне ультракоротких волн (УКВ), выделенных для мобильной связи необходимо также обеспечить "прямую видимость" между антеннами приемника и передатчика. Мощность передатчика в мобильном терминале должна быть ограничена по техническим соображениям. Кроме того, высокая мощность может стать источником угроз здоровью пользователей.

С учетом этих соображений в 70-х годах XX века был предложен новый принцип организации мобильной связи. Зону обслуживания сети делили на сравнительно небольшие участки, называемые сотами. Каждая из сот обслуживается своим приемопередатчиком – базовой станцией (БС). Приемопередатчик имеет невысокую выходную мощность и ограниченное количество выделенных частотных каналов. Это позволяет без помех многократно использовать эти же частотные каналы в других сотах, удаленных на определенное расстояние. Таким образом, основным принципом сотовой связи является многократное использование одних и тех же радиочастот в различных фрагментах сети. Этим достигается эффективное использование выделенного (ограниченного) частотного ресурса при обеспечении заданной пропускной способности сети.

Разделить обслуживаемую территорию на соты можно различными способами, используя результаты измерений характеристик распространения сигналов, а также соответствующие теоретические оценки. Для оптимального деления территории на соты обычно используют три геометрические фигуры: треугольник, квадрат и шестиугольник. На практике чаще выбирается шестиугольник, который служит хорошей моделью для работы антенн с круговой диаграммой направленности. Если такая антенна устанавливается в центре шестиугольника, то обеспечивается доступ практически ко всем участкам соты.

На рисунке 16 показан пример организации сотовой топологии при использовании трех различных частотных диапазонов –  $F1$ ,  $F2$  и  $F3$ . Несложно убедиться, что в соседних сотах никогда не задействуются одинаковые частотные диапазоны.

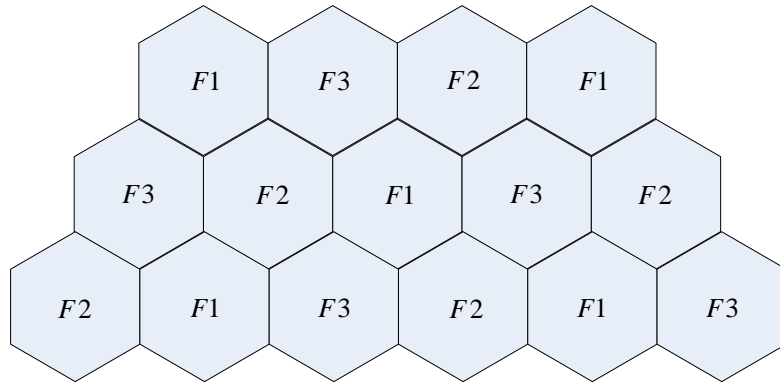


Рис. 16. Сотовая топология с использованием трех диапазонов частот

Совокупность сот с разными частотными диапазонами образует кластер. Важным параметром кластера считается количество частотных диапазонов в соседних сотах. Очевидно, что для модели, изображенной на рисунке 16, исследуемый параметр равен трем. На практике эта величина может достигать пятнадцати.

Базовые станции, которые используют идентичные диапазоны частот, удалены друг от друга на расстояние  $D$  – рисунок 17. Оно называется защитным интервалом. Величина  $D$  зависит от множества факторов, исследуемых в теории распространения радиоволн.

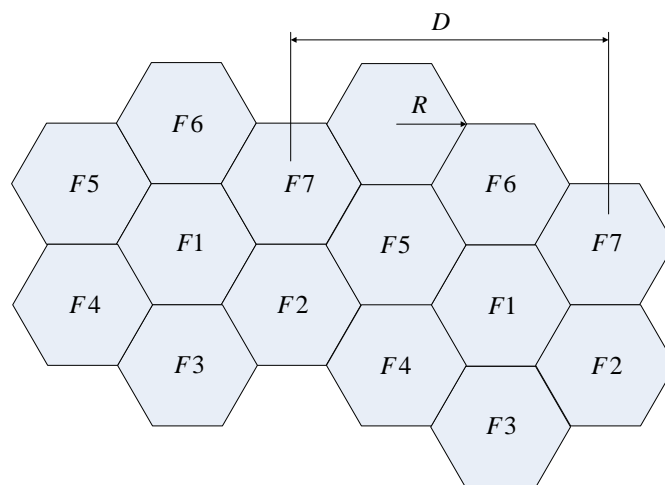


Рис. 17. Сотовая топология с использованием семи диапазонов частот



Обычно частотный диапазон  $F$  представляется как число каналов  $m$ , умноженное на полосу пропускания каждого канала  $f$ . Если количество уникальных частотных диапазонов равно  $k$ , то для сети сотовой связи необходимы ресурсы  $\Delta F$ , величина которых определяется таким произведением:

$$\Delta F = kmf . \quad (4.1)$$

Радиус соты  $R$  определяет численность обслуживаемых пользователей  $N$ . Снижение радиуса  $R$  позволяет снизить мощность приемопередатчиков (как базовых станций, так и терминалов), но повышает стоимость сети. Это обусловлено ростом количества базовых станций. На практике при выборе величины  $R$  учитывается большее число факторов.

### 1.13. Принципы функционирования сети мобильной связи

Принципы построения сети мобильной связи в значительной мере определяются идеей использования сотовой топологии. Стандарт мобильной связи не столь существенно влияет на структуру сети и функциональные задачи ее основных компонентов. На рисунке 18 показана модель сотовой сети, которая инвариантна к стандарту мобильной связи.

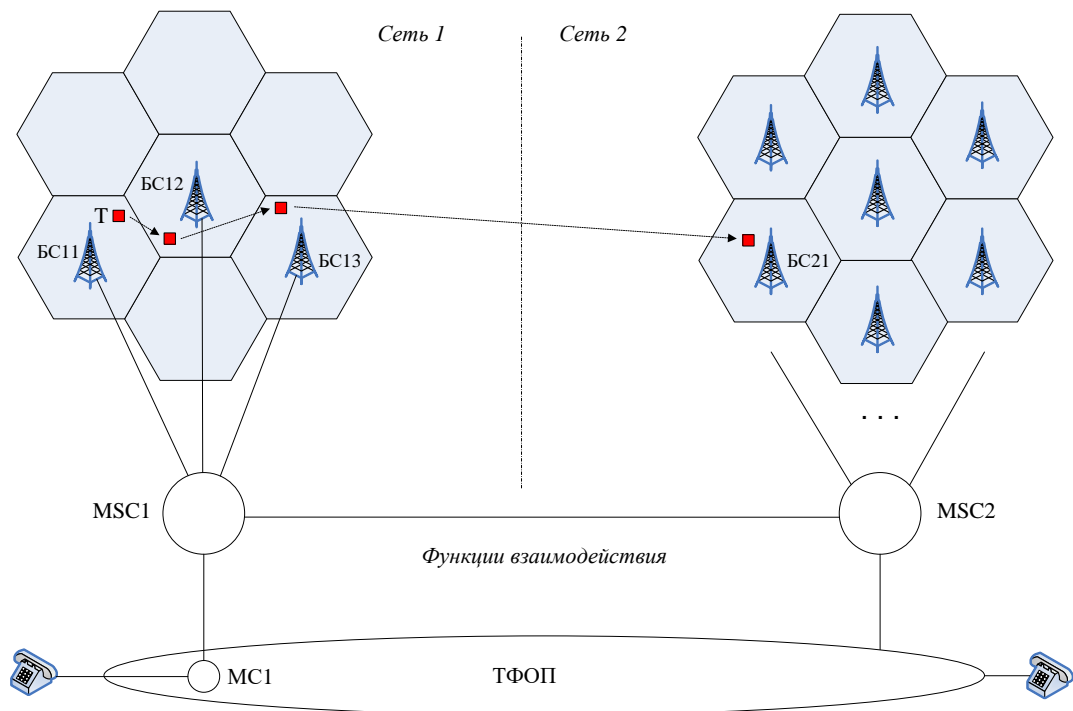


Рис. 18. Модель сети мобильной связи

Рассматриваемая модель включает две сети мобильной связи. Для каждой из этих сетей показано по одному кластеру сот. В каждой сети установлен центр коммутации мобильной связи (MSC – Mobile Switching Center). В кластере первой сети изображены только три базовые станции – БС11, БС12 и БС13. Мобильный терминал (Т) перемещается в процессе разговора именно между этими тремя базовыми станциями. Траектория движения мобильного терминала показана пунктирными стрелками.

При установлении соединения определяется та базовая станция, для которой сигнал от терминала максимален. В рассматриваемом примере речь идет о БС11. Предполагается, что данная базовая станция располагает свободным частотным каналом для обслуживания вызова. Допустим, что требуется установить соединение с телефонным аппаратом ТФОП. Тогда MSC1 через ТФОП устанавливает связь с той местной станцией (МС), в которую включен телефонный аппарат вызываемого абонента. В данном примере связь устанавливается с МС1.

В какой-то момент времени  $t_1$  терминал оказался в той точке, где его целесообразно обслуживать за счет частотных ресурсов БС12. Переключение терминала с одного частотного канала на другой осуществляется так, что абонент практически не ощутил снижения качества связи. Процедура переключения терминала из одной базовой станции на другую называется handover. Она подобна эстафетной передаче. В технической литературе вместо термина handover иногда используется слово handoff. Для реализации эстафетной передачи осуществляется измерение уровня передаваемого (получаемого) сигнала. Функции handover используются при перемещении терминала к моменту времени  $t_2$  в зону обслуживания БС13.

Предположим, что к моменту времени  $t_3$  терминал переместился в зону обслуживания БС21, которая принадлежит второй сети мобильной связи. В этом случае должен быть задействован центр коммутации MSC2. Процедура перемещения терминала во вторую сеть мобильной связи называется roaming. Она реализуется за счет обмена информацией между двумя центрами коммутации мобильной связи. На рисунке 4.3 этот обмен назван функциями взаимодействия. Подробнее процедура roaming рассматривается в той части лекции, которая посвящена стандарту GSM.

Принципы обслуживания вызовов в сети мобильной связи, изложенные выше, позволяют перейти к модели, показанной на рисунке 19. Эта модель представляет сеть мобильной связи при помощи двух основных подсистем.

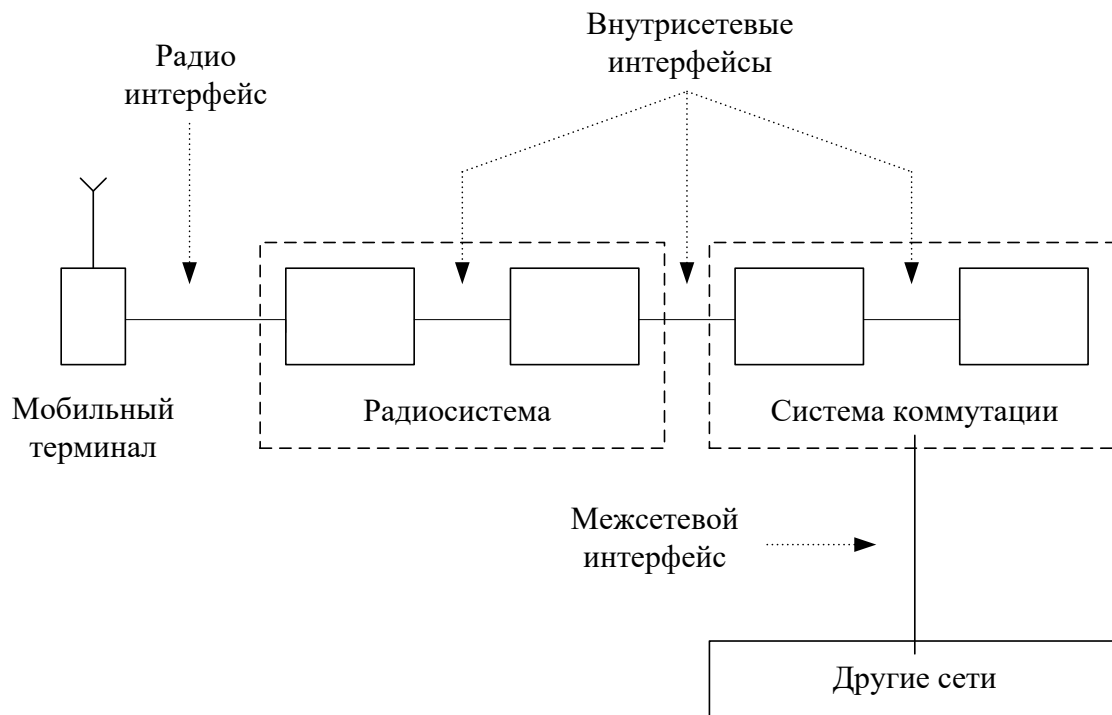


Рис. 19. Основные подсистемы в сети мобильной связи

Эта модель определяет набор интерфейсов, спецификации которых определяются выбранным стандартом мобильной связи. Еще одним важным следствием анализа рассматриваемой модели является вывод о месте сети мобильной связи в составе Телекоммуникационной системы. Строго говоря, сеть мобильной связи представляет собой лишь качественно новую сеть доступа в совокупности с оборудованием MSC (включая ряд дополнительных, связанных с ним, аппаратно-программных средств). После MSC вызов обслуживается коммутационными станциями сети фиксированной телефонной связи.

#### 1.14. Сотовая сеть стандарта GSM

При переходе от аналоговой мобильной сети к цифровой перед европейским институтом телекоммуникационных стандартов (ETSI) была поставлена задача по разработке соответствующих спецификаций. В результате был создан стандарт GSM – Global System for Mobile Communications. Большинство мобильных терминалов функционируют именно в этом

стандарте. В Европе для стандарта GSM выделены два частотных диапазона – 900 и 1800 МГц.

Существенные отличия мобильного терминала от обычного телефонного аппарата заключаются в следующем:

- наличие устройства электропитания (аккумулятора);
- возможность выдачи (по запросу из сети) уникальной информации о терминале – IMEI (International Mobile Equipment Identity);
- размещение специального устройства – SIM (Subscriber Identity Module) карты, которая необходима для реализации ряда важных функций мобильной связи.

Существенные отличия оборудования коммутации в сети GSM от традиционных АТС в фиксированной ТФОП объясняются, в основном, необходимостью поддержки функций handover и roaming. На рисунке 19 показаны основные элементы в сети стандарта GSM и соответствующие интерфейсы.

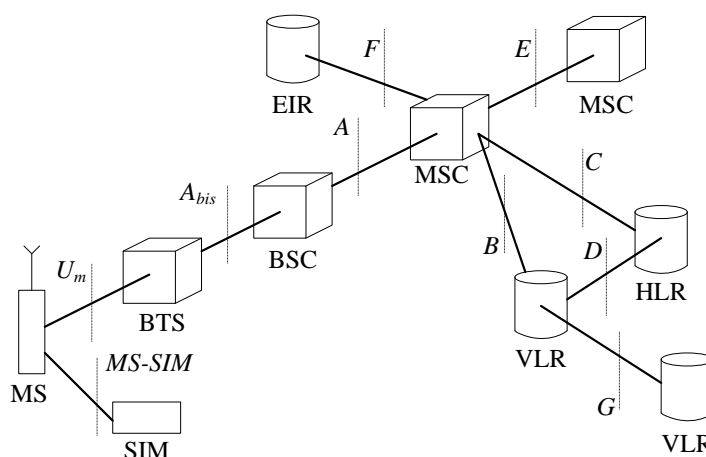


Рис. 19. Основные функциональные элементы и интерфейсы

#### в сети мобильной связи стандарта GSM

Мобильная станция (MS) и SIM карта образуют терминал, способный не только обслуживаться вызовы, но и выполнять все функции, которые связаны с начислением платы, дополнительными функциями, а также процедурами handover и roaming. Интерфейс между мобильной станцией и базовой станцией (BTS – Base Transceiver Station) устанавливает правила взаимодействия в используемом частотном диапазоне.

Контроллер базовых станций (BSC – Base Station Controller) обычно управляет работой нескольких BTS. Он обеспечивает взаимодействие базовых станций с центром коммутации MSC. Рядом с MSC показаны три

функциональных элемента, которые являются важными аппаратно-программными средствами поддержки мобильной связи.

Регистр идентификации оборудования (EIR – Equipment Identity Register) содержит перечень IMEI мобильных телефонов, которым запрещён доступ в сеть, или они находятся под наблюдением правоохранительных органов. Данный регистр позволяет отслеживать украденные терминалы. Теоретически, все данные об украденных терминалах могут распространяться по всему миру. В ряде стран эта возможность не поддерживается. Кроме того, информация в EIR не обновляется в режиме реального времени, что затрудняет поиск ворованных терминалов. Обычно EIR объединен с HLR – Home Location Register.

Регистр домашних абонентов можно рассматривать как базу данных, в которой хранится вся необходимая информация о пользователях, заключивших договор с Оператором мобильной связи. Иногда рядом с HLR изображают центр аутентификации AUC (Authentication Centre). Он служит для определения подлинности абонента. В ряде случаев оборудование HLR и AUC представляет собой единый комплекс.

VLR (Visitors Location Register) – это база данных, в которой хранится оперативная информация о терминалах, находящихся в зоне обслуживания MSC. Каждая базовая станция приписана к одному VLR. Поэтому записи о нахождении терминала в каждый конкретный момент времени находятся только в одном VLR. Основные функции VLR сводятся к следующим операциям:

- информировать HLR о том, что терминал, который зарегистрирован в домашнем регистре, находится – в данное время – в зоне обслуживания VLR;
- отслеживать нахождение терминала в границах своей зоны обслуживания;
- контролировать доступность услуг для абонента;
- выделять роуминговые номера (roaming numbers) в процессе установления входящего вызова
- удалять данные о терминале, если он становится неактивным в зоне обслуживания данного VLR и информировать об этом HLR.

### **1.15. Перспективы развития мобильной связи**

ETSI уже давно ведет работы по новым стандартам мобильной связи. Основные направления этой работы заключаются в повышении качества

связи, расширении спектра поддерживаемых услуг, обеспечении обмена данными и видеoinформацией.

Сети, подобные тем, которые используют стандарт GSM, относятся ко второму поколению систем мобильной связи – 2G. Разработанная ETSI идеология UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) определяет набор стандартов для универсальной системы мобильной связи. Она относится к поколению 3G. Концепция UMTS создавалась для поддержки мультимедийных услуг. Для нее выделен частотный диапазон 2 ГГц. Сети 3G уже введены рядом европейских Операторов в коммерческую эксплуатацию.

Ряд специалистов считает, что более перспективно направление, связанное с поколениями 4G и 5G. Соответствующие сети позволяют довести скорость обмена информацией до 100 Мбит/с. Предполагается, что сети 4G могут быть введены в коммерческую эксплуатацию уже в 2010 году. Существенно то, что поколения 4G и 5G ориентированы на сеть следующего поколения, что очень важно с точки зрения максимальной интеграции фиксированной и мобильной связи.

### **1.16. Обмен данными как новый вид электросвязи**

В настоящее время термин "data transmission" часто используется для описания процессов обмена различной информацией. Ранее этот термин применялся для информации, которая предназначалась для обработки в компьютере или уже обработанной средствами вычислительной техники. В рекомендации ITU-T X.902 (редакция 1995 года) определение термина "данные" сформулировано так: "The representation forms of information dealt with by information systems and users thereof". Трансформация термина связана с процессами интеграции и конвергенции в современной инфокоммуникационной системе. Эти процессы будут рассматриваться в другой лекции.

Своим появлением передача данных целиком обязана потребностям вычислительной техники. Развитие вычислительной техники началось с создания больших ЭВМ (Mainframe). Для объединения вычислительных ресурсов, использования общих программ, хранения данных использовались арендованные или специально построенные линии. Вариант (а) на рисунке 20 иллюстрирует связь двух ЭВМ звеном передачи данных. Звено передачи данных представляет собой двухсторонний канал передачи данных.

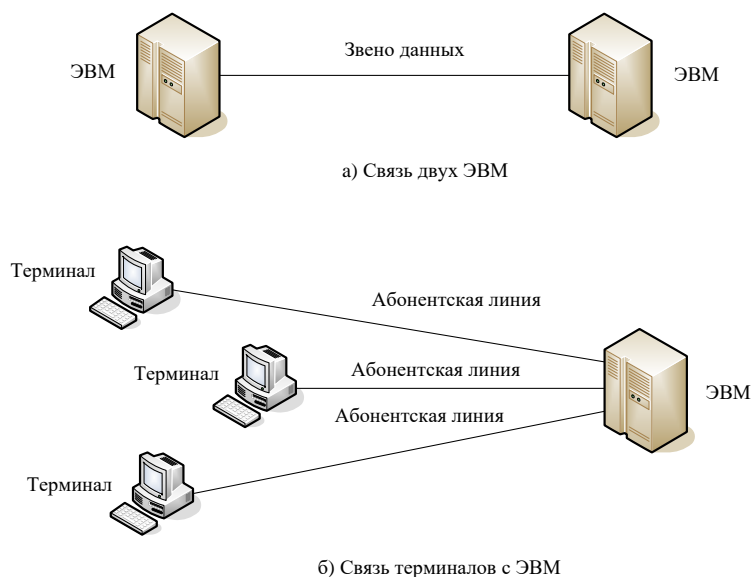


Рис. 20. Первые системы обмена данными для Mainframe

Вариант (б) показывает второй вид систем обмена данными. Для коллективного использования вычислительных ресурсов терминалы связывались с ЭВМ индивидуальными абонентскими линиями. Топологии "шина", "кольца" и другие стали использоваться позже.

Конечно, подобные решения мало походили на сеть передачи данных. Тем не менее, опыт эксплуатации таких простых систем оказался очень полезен для разработки крупных сетей передачи данных.

В настоящее время термины "Сеть передачи данных" и Internet стали синонимами. Родиной Internet считается США. Первой датой, важной с точки зрения появления Internet, считается 1964 год. В этот год по заданию Министерства обороны США была разработана концепция сети, в которой впервые был реализован метод коммутации пакетов. Эта сеть не содержала ни устройств распределения информации, ни средств управления. Тем не менее, именно она послужила прототипом Internet, претерпев, конечно, ряд радикальных изменений.

В 1969 году началась опытная эксплуатация сети, получившей название ARPANET. В некоторых публикациях эта аббревиатура пишется иначе – ARPAnet. Первые четыре буквы образованы из названия на английском языке Управления перспективных исследовательских программ в Министерстве обороны США (Advanced Research Projects Agency). Три последние буквы – сокращение от слова "network" – сеть.

Одна из основных целей ARPANET заключалась в объединении вычислительных ресурсов всех участников разработок, проводимых в

интересах Министерства обороны США. Эта сеть быстро росла и совершенствовалась. В 1984 году она разделилась на две сети. Одна из сетей стала открытой. Она сохранила название ARPANET. Вторая сеть стала развиваться в интересах Министерства обороны США.

Официально ARPANET прекратила свое существование. Это объясняется тем, что самое эффективное развитие Internet могла обеспечить сеть NFS Национального научного фонда США. Этот фонд финансировал создание и эксплуатацию ряда других сетей, но не таких крупных. В 1985 году при поддержке Национального научного фонда были созданы крупные вычислительные центры для использования всеми университетами США. Эти центры были объединены сетью обмена данными. Ряд университетов к этому времени создали свои сети обмена данными, в которых был использован стек протоколов TCP/IP.

Основная цель развития Internet в середине 80-х годов формулировалась так: обеспечение дистанционного доступа к вычислительным ресурсам, которые представляли собой мощные ЭВМ. Целесообразность поддержки системы "электронной почты", обмена файлами, рассылки новостей стала ясна позже.

### **1.17. Современные системы обмена данными**

В 90-х годах на рынке вычислительной техники важную роль стали играть персональные компьютеры (ПК). Задача дистанционного доступа к вычислительным ресурсам стала менее актуальна. На первый план вышли проблемы информационного рынка. С одной стороны, Internet можно рассматривать как одно из эффективных средств информационного обслуживания. В этом смысле Internet представляет собой информационную систему. Анализ такой системы целесообразно осуществлять, используя соответствующие методы информатики и других смежных дисциплин. С другой стороны, Internet можно рассматривать как совокупность взаимосвязанных сетей, что, кстати, точнее отражает перевод этого слова на русский язык. Это означает, что Internet – телекоммуникационная сеть.

Отождествлению Internet с информационной системой способствует то, что именно Всемирная паутина (WWW) стала основной услугой Internet. Это не умаляет значения Internet для электронной почты (e-mail), передачи файлов (FTP), интерактивной переписки (Chat) и других приложений.

Большинство терминов, используемых ныне в электросвязи, было разработано телефонистами. Для Internet характерна специфическая технология. Это объясняется особенностями телекоммуникационных



технологий и информационных процессов, которые не были свойственны телефонии. Целесообразно ввести несколько определений, которые будут полезны для дальнейшего изложения материала, касающегося Internet.

1. Домен (domain). Каждой стране выделено некоторое кодовое обозначение длиной две-три буквы латинского алфавита, которое называется доменом первого уровня. Если адрес заканчивается буквами "ru", то соответствующий сайт находится в домене России. Существуют также домены первого уровня, которые связаны не с географией, а с направленностью сайта. Например, буквы "com" используются для коммерческих организаций, а буквы "edu" для образовательных учреждений. Домены второго уровня выдаются организациям и частным лицам в аренду. Домен второго уровня, также как и следующих, должен состоять из цифр и букв латинского алфавита. Выбирая домен второго уровня для своего сайта, как правило, стараются найти слово, которое будет соответствовать названию организации, товара или направления деятельности, а также легко читаться и запоминаться. Владелец домена второго уровня имеет возможность создавать неограниченное количество адресов третьего и далее уровней.

2. Поисковая система (search engine). Эта система служит инструментом для поиска информации в Internet. Поисковые машины различаются по области действия на локальные (ограничивающиеся, например, национальным доменом или определенным языком) и глобальные (они, в частности, качественно осуществляют поиск по сайтам в США, где размещается значительная часть информационных ресурсов). Большинство поисковых машин не требуют знания специального языка запросов. Достаточно указать в строке запроса несколько ключевых слов, определяющих область интереса пользователя. Основным объектом для поисковой машины – тексты.

3. Сайт (site), Web-сайт (Web-site). Сайт – это место в Internet, которое определяется своим адресом, имеет своего владельца и состоит из нескольких Web-страниц, которые воспринимаются как единое целое. Обычно Web-страницы имеют идентичный дизайн. Строгого определения для термина "сайт" не существует. Например, некоторые разделы больших сайтов вполне могут восприниматься и даже определяться их владельцами как отдельные сайты.

4. Сервер (server, Web-server). Этот термин употребляется в трех различных значениях. Во-первых, он в некоторых случаях эквивалентен термину "сайт". Во-вторых, сервером называют компьютер, который обеспечивает работу сайта. В-третьих, так иногда именуется основная программа, которая

обеспечивает работу Web-сайта. Главная задача сервера – передача страниц сайта по протоколу http.

5. Web-страница (Web-page). Web-страница представляет собой самостоятельную часть Web-сайта. Этот документ имеет уникальный адрес, который более известен по аббревиатуре URL.

6. Хост (host). Существует несколько толкований этого термина. Чаще всего хостом называют любое устройство (в том числе и ПК), подключенное к Internet и использующее стек протоколов TCP/IP. Реже под хостом понимают главную ЭВМ.

7. Web-браузер (browser). Данная программа предоставляет пользователю возможности по навигации и просмотру Web-ресурсов; скачиванию файлов, а также для ряда других операций.

8. HTTP. Протокол http определяет принципы передачи Web-страниц по сети Internet. Сначала протокол http использовался только для передачи html-документов. В настоящее время посредством http можно передавать любую информацию, в том числе неподвижные изображения, звук, видео.

9. HTML. На этом языке браузеру (навигатору) сообщается, какой именно текст и другие элементы (рисунки таблицы и прочее) и каким образом нужно отображать на странице. На языке HTML не программируют, а особым образом размечают текст, который предназначен для публикации в Internet. Язык HTML позволяет связывать страницы между собой с помощью ссылок. Наличие ссылок – важное свойство Web-страниц.

10. IP-адрес. Этот адрес используется для идентификации узла в сети и для определения принципов маршрутизации. Адрес состоит из идентификаторов сети (network ID) и хоста (host ID), присвоенного сетевым администратором. Идентификатор сети – часть IP-адреса, которая определяет группу компьютеров и устройств одной логической сети. Идентификатор хоста – часть IP-адреса, определяющая принадлежность компьютера к определенной сети. Обычно IP-адрес записывают в виде четырех чисел со значениями от 0 до 255, разделенных точками.

11. DNS-сервер. Основная функция этих специальных Web-серверов – хранение информации об IP адресах и ее преобразование.

12. URL (Universal Resource Locator). Этот термин расшифровывается как адрес страницы в Internet. URL состоит из доменного имени, пути к странице на сайте и имени файла страницы. Как правило, файлы, содержащие Web-страницы, имеют расширения "htm" или "html".

Сеть Internet не имеет столь четкой структуры как ТФОП. Это объясняется тем, что Internet содержит некое множество сетей, каждая из которых создавалась без заранее установленных правил. По этой причине при описании структуры сети Internet лучше оперировать иными "строительными модулями", чем коммутационное оборудование, привычное, в частности, для анализа ТФОП.

В некоторых сетях, входящих в Internet, используются специфические протоколы маршрутизации. Характерным примером таких решений можно считать сети спутниковой связи. Подобная сеть обычно рассматривается как автономная система Internet, известная специалистам по аббревиатуре AS – Autonomous system. Связь между каждой парой AS может быть организована напрямую или через точки обмена трафиком IXP. На рисунке 21 показан фрагмент сети Internet с пятью автономными системами. Для взаимодействия автономных систем разработан межсетевой протокол.

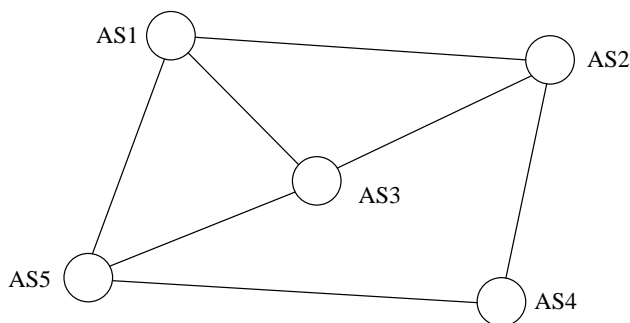


Рис. 21. Пример структуры сети Internet

Подобный способ описания сети Internet представляет интерес для математического анализа структурных характеристик на неориентированных графах. Возможные маршруты обмена IP пакетами между двумя локальными сетями или компьютерами (две вершины графа) могут быть определены как совокупность маршрутизаторов, которые связаны между собой определенным образом. Кстати, среднее число маршрутизаторов в тракте передачи IP пакетов с 1998 по 2001 год увеличилось с 18 до 20. Понятно, что такая тенденция стимулирует пересмотр принципов построения сети Internet.

На рисунке 22 приведен пример фрагмента сети Internet, в котором между двумя локальными сетями показаны возможные пути обмена IP пакетами. Такое представление об Internet позволяет расширить область анализа характеристик сети. В частности, подобная модель удобна для исследования вероятностно-временных характеристик процессов обмена IP пакетами. В

каждом маршрутизаторе (R) возможны как задержки, так и потери IP пакетов.

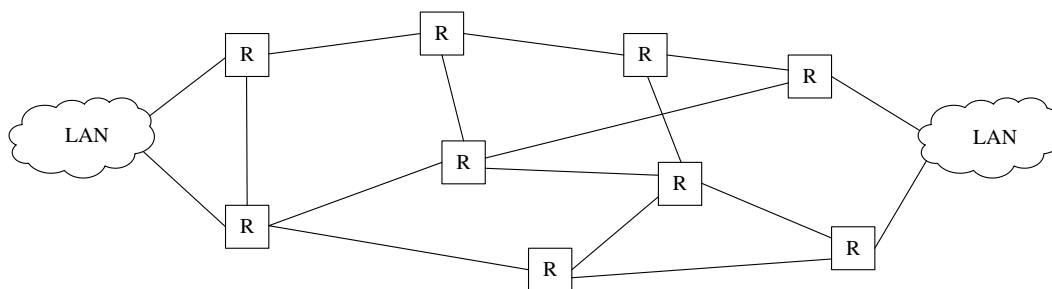


Рис. 22. Совокупность маршрутизаторов между двумя локальными сетями

### 1.18. Влияние Internet на инфокоммуникационную систему

Развитие Internet, подобно сетям мобильной связи, осуществляется стремительно, быстро расширяя клиентскую базу. С точки зрения качественных изменений и тех функциональных возможностей, которые предоставляются пользователям, Internet можно считать безусловным лидером. Один из интересных аспектов развития Internet – влияние на перспективную инфокоммуникационную систему.

Соответствующие процессы затрагивают многие аспекты экономики и социальной сферы. На рисунке 23 показана схема, предлагаемая для анализа влияния Internet на инфокоммуникационную систему. Для этого анализа Internet рассматривается и как сеть электросвязи, и как информационная система.

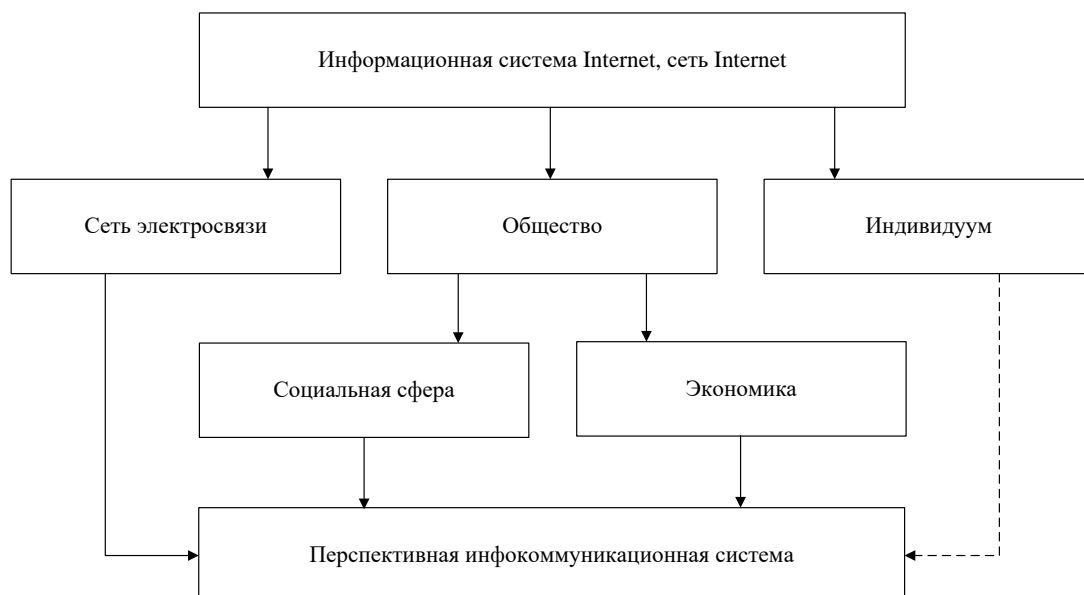


Рис. 23. Влияние Internet на инфокоммуникационную систему

Анализ факторов, показанных на рисунке 23, позволяет – в совокупности с другими тенденциями развития инфокоммуникаций – сформулировать следующие положения:

- Internet стимулирует повышение интеллекта тех сетей электросвязи, которые вовлекаются в процессы совместного предоставления ряда новых услуг;
- IP протокол начинает широко применяться во многих сетях электросвязи, создавая основы NGN;
- WWW и некоторые другие приложения требуют существенного расширения пропускной способности транспортных сетей;
- Web-технологии все чаще применяются для решения задач технического обслуживания телекоммуникационного оборудования;
- основные принципы построения Internet постепенно изменяются, испытывая, в том числе, влияние других сетей электросвязи.

Влияние Internet на общество в целом целесообразно рассматривать с двух точек зрения. Во-первых, необходимо уяснить значение Internet, как информационной системы, для экономики. Во-вторых, целесообразно обратить внимание на развитие социальных аспектов. Следует подчеркнуть, что влияние Internet не всегда связано с положительным эффектом.

### 1.19. Перспективы развития Internet

Всем участникам инфокоммуникационного рынка хорошо знакомы положительные и отрицательные свойства нынешнего Internet. Их требования к следующему поколению Internet многообразны. С точки зрения вопросов, рассматриваемых в этой лекции, целесообразно ограничиться тремя аспектами развития Internet. Они показаны на рисунке 24. Там же приведены примеры, позволяющие конкретизировать некоторые тенденции эволюции Internet.



Рис. 24. Некоторые аспекты эволюции Internet

Первый блок связан с улучшением условий работы пользователей. Эти условия, в конечном счете, определяют эффективность Internet с точки зрения пользователя, которая оценивается множеством показателей (производительность труда, комфортность и так далее). В качестве характерных примеров этого аспекта развития Internet на рисунке 5.5 показаны два важных направления – широкополосный доступ и мобильность. Эти тенденции не нуждаются в дополнительных комментариях.

Второй блок на рисунке 5.5 назван "Обеспечение новых видов обслуживания". В составе этого блока выделены два аспекта – быстрый и качественный перевод текстов, а также "интеллектуальная" помощь. Можно назвать и ряд других примеров, но те, что показаны на рисунке, представляются весьма интересными.

Перевод текстов может осуществляться за счет установки на ПК специального программного обеспечения. Как правило, качество машинного перевода не соответствует требованию большинства пользователей. Поэтому

получение из Internet информации на том языке, который выбрал пользователь, можно считать весьма актуальным требованием. Безусловно, процесс перевода не должен быть длительным.

Под "интеллектуальной" помощью в данном случае понимается совокупность услуг, которые – вне Internet – могут оказывать высококвалифицированные специалисты. Один из характерных случаев такой помощи – анализ данных, относящихся к другой области знаний. В качестве другого примера можно назвать сложную математическую обработку результатов эксперимента.

Третий блок связан с управлением информационной системой Internet. Первый из приведенных примеров не нуждается в пространных комментариях. Во многих случаях необходима защита от несанкционированного доступа, хакерских атак, вирусов и прочих внешних воздействий. Вторым примером является разумная цензура. Пожалуй, наиболее веско об этом в 2002 году сказал Папа Римский Иоанн Павел II. Он произнес такие слова: "Internet удовлетворяет как наилучшие, так и наихудшие человеческие потребности и требует регулирования, чтобы остановить безнравственность, наполняющую киберпространство". Понятно, что нравственные аспекты вызвали наибольшее беспокойство понтифика. У специалистов назрели свои проблемы, также стимулирующие разумные средства регулирования Internet. Это, кстати, тоже сближает Internet и ТФОП. Большой интерес у многих специалистов вызвали идеи Internet-2 и NGI – Internet следующего поколения. В некоторых публикациях соответствующие проекты рассматриваются как два названия одной концепции. Такой подход, по всей видимости, объясняется некоторой общностью целей обоих проектов. Некоторые авторы идут еще дальше, ставя знак равенства между NGI и NGN, что совсем неверно.

### 1.20. Предпосылки перехода к NGN

Закономерность эволюции телекоммуникационных сетей объясняется теми процессами, которые начали менять облик инфокоммуникационной системы в начале XXI века. Эти изменения указаны в последней строке таблицы 6. Они характеризуют циклы, свойственные развитию телефонии.

Таблица 6 Цикличность в развитии системы телефонной связи

Существенные этапы эволюции телефонии	Время
---------------------------------------	-------

Появление телефонной связи	80-е годы XIX века
Автоматизация сетей телефонной связи	20-е годы XX века
Использование программного управления	60-е годы XX века
Смена технологий передачи и коммутации	Начало XXI века

Сорокалетние циклы, приведенные в таблице, подобны "длинным волнам", открытие которых было сделано российским ученым Николаем Кондратьевым. Цикличность процессов радикальной модернизации системы телефонной связи свидетельствует, что смена технологий передачи и коммутации, заложенные в основу идеологии Next Generation Network (NGN), будет определять характер развития инфокоммуникаций на длительный период времени.

Аббревиатура NGN чаще других сокращений используется в технической литературе для обозначения нового цикла развития электросвязи. Реже встречается аббревиатура NPN (New Public Network), подчеркивающая факт построения сети общего пользования. Иногда специалисты подчеркивают то обстоятельство, что в основе концепции NGN лежит IP протокол. Поэтому они используют аббревиатуру IP NGN.

Важная причина перехода к NGN – окончание жизненного цикла эксплуатируемых видов телекоммуникационного оборудования. Новое оборудование, отвечающее требованиям NGN, призвано сократить эксплуатационные расходы Оператора сети за счет процессов интеграции сетей. Оценки такого рода приведены в таблице 7.

Таблица 7. Соотношение затрат в NGN

Вид затрат Оператора	Сегодня	Изменение	Завтра
Доля инвестиций	35%	× 1,25	43,75%
Доля эксплуатационных расходов	65%	× 0,5	32,5%
Совокупный объем затрат	100%	–	76,25%



Создание NGN меняет не только технологические принципы передачи и коммутации. Очень существенные изменения произойдут на рынке инфокоммуникационных услуг, в системе технической эксплуатации и не только. NGN не поможет найти "killer application" (его поиски чем-то похожи на попытку изобретения вечного двигателя), но заметно повлияет на телекоммуникационную систему в целом.

### 1.21. Концепция NGN

Концепция NGN разрабатывается в течение нескольких лет, но пока не предложено внятное определение для "сети следующего поколения". Можно дать простую трактовку термина NGN, если воспользоваться определением сети, которая поддерживает обслуживание "Triple-play services": речь + данные + видео. Ее можно рассматривать как мультисервисную сеть, в которой предоставляются основные и дополнительные услуги для обмена тремя видами информации (речь, данные и видео). Тогда определение для NGN может быть сформулировано в более простой форме: сеть, способная обеспечить обслуживание вида "Triple-play services" за счет использования оборудования передачи и коммутации, которое основано на пакетных технологиях.

Модель NGN, отражающая принципы построения сети, может быть представлена структурой, которая показана на рисунке 25. Одна из существенных особенностей NGN – разделение функций передачи IP пакетов и управления этим процессом. Передача информации, в которой заинтересованы пользователи, осуществляется коммутаторами пакетов (КП, Packet Switch – PS). Вторая функция возложена на устройства управления (УУ, Control Unit – CU), в качестве которых могут использоваться различные аппаратно-программные средства (например, Softswitch).

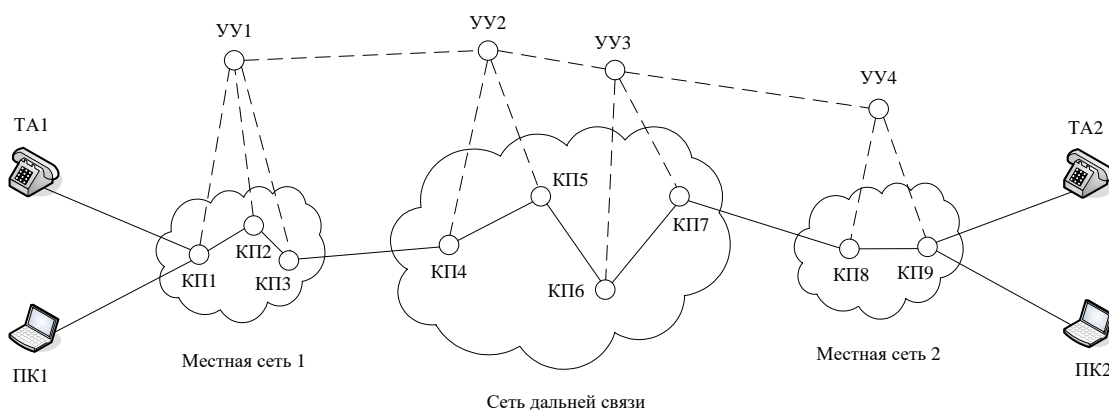


Рис. 25. Модель сети следующего поколения

Модель включает три компонента: междугородная сеть и две местные. Количество КП в каждом компоненте сети было выбрано произвольно. Это справедливо также в отношении численности УУ, которые необходимы для определения основных атрибутов соединения. Предполагается, что оба пользователя располагают терминалами двух типов. Телефонный аппарат (ТА) необходим для передачи речи. Персональный компьютер (ПК) обеспечивает обмен данными и получение видеoinформации.

Переход к IP технологиям передачи и коммутации требует изменения подхода к планированию сети. Эти изменения обусловлены рядом причин. Из них целесообразно выделить два направления, которые будут подробно рассматриваться в десятой и в шестнадцатой лекциях соответственно:

- показатели качества обслуживания мультисервисного трафика;
- надежность инфокоммуникационной системы.

Концепция NGN не предусматривает построение новой телекоммуникационной сети. Сеть NGN должна быть создана в процессе эволюции существующей инфокоммуникационной системы. Использование в NGN пакетных технологий усложняет проблемы взаимодействия с ТФОП, которая основана на технологии "коммутация каналов".

Стандартизацией NGN занимаются несколько международных организаций. Определенный вклад вносят ITU и ETSI. Активно разрабатывает свои стандарты Международный консорциум пакетной связи – IPCC (International Packet Communication Consortium). Он стал преемником завершившей свою деятельность организации International Softswitch Consortium. На рисунке 26 показана архитектура NGN, предложенная МСЭ в рекомендации Y.1001. Она содержит ряд новых элементов по сравнению с моделями, привычными для специалистов по телефонии.

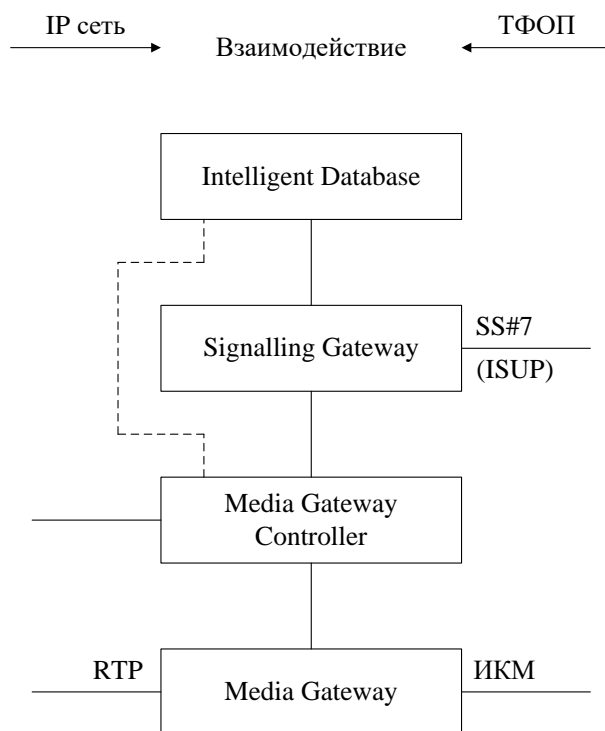


Рис. 26. Архитектура сети следующего поколения

Медиа-шлюз выполняет достаточно простые функции преобразования информационных потоков. Слева от медиа-шлюза показан поток RTP, который формируется при использовании транспортного протокола реального времени (Real-Time Transport Protocol), а справа – поток, образованный системой передачи с импульсно-кодовой модуляцией (PCM – Pulse Code Modulation). Медиа-шлюз в крупной сети должен обладать большой производительностью.

Медиа-шлюз управляется соответствующим контроллером – MGC (Media Gateway Controller), который теперь более известен по названию Softswitch (вряд ли такая замена удачна; тем более, что новый термин – фирменное название продукта Lucent Technologies). Контроллеры могут быть связаны между собой. MGC взаимодействует также с интеллектуальной базой данных (Intelligent Database – ID).

Над контроллером MGC показан шлюз сигнализации (Signalling Gateway – SG). В сторону ТФОП (или сотовой сети) шлюз сигнализации передает и принимает информацию по сети общих каналов сигнализации (SS#7 – Signalling System #7). В российской сети SS#7 применяется подсистема пользователя интегральной сети – ISUP (Integrated Services Digital Network User Part).

Сопоставление коммутационной станции ТФОП и оборудования Softswitch наводят на мысль, что эти аппаратно-программные средства идентичны с

точки зрения выполняемых функций. Сходство, на самом деле, действительно есть, но можно выделить и ряд существенных различий. Рисунок 27 иллюстрирует различия в архитектуре коммутационных станций ТФОП и Softswitch. Открытые протоколы и интерфейсы прикладного программирования (Application Programming Interface – API) – неотъемлемая особенность архитектуры Softswitch.



Рис. 27. Архитектура коммутационных станций ТФОП и Softswitch

Для сети NGN определен ряд новых протоколов, часть из которых была разработана ранее. Целесообразно выделить пять следующих протоколов:

1. Протокол H.323. Рекомендация ITU H.323 была разработана для обеспечения установления соединения и передачи голосового и видео трафика по пакетным сетям, в частности Internet и intranet, которые не гарантируют качества обслуживания (QoS). Используется протокол RTP, разработанный IETF (инженерная группа по проблемам Internet), а также стандартные кодеки, отвечающие требованиям МСЭ, которые изложены в рекомендациях серии G. Протокол H.323 был первым в реализациях технологии IP-телефонии, но сейчас он начал уступать позиции разработанному IETF протоколу SIP (инициирование сеансов связи), который оказался проще и лучше масштабировался.

2. Session Initiation Protocol (SIP). Это протокол прикладного уровня, с помощью которого осуществляются такие операции, как установление,

изменение и завершение мультимедийных сессий или вызовов по IP-сети. В мультисервисных сетях SIP выполняет функции, аналогичные тем, которые реализованы в протоколе H.323. Сессии SIP могут включать мультимедийные конференции, дистанционное обучение, Internet-телефонию и другие подобные приложения. Сегодня SIP рассматривается многими участниками инфокоммуникационного рынка как международный стандарт.

3. Media Gateway Control Protocol (MGCP). Протокол MGCP используется для управления шлюзами MG. Он разработан для архитектуры, в которой вся логика обработки вызовов располагается вне шлюзов, и управление выполняется внешними устройствами, такими, как MGC или агенты вызовов. Модель вызовов MGCP рассматривает медиа-шлюзы как набор конечных точек, которые можно соединить друг с другом.

4. MEGACO/H.248. Этот протокол, по всей видимости, заменит MGCP в качестве стандарта для управления медиа-шлюзами. MEGACO служит общей платформой для шлюзов, устройств управления многоточечными соединениями, а также устройств интерактивного голосового ответа. Модель соединений, используемая MEGACO, более проста, чем для протокола MGCP.

5. Протокол Signalling Transport (SIGTRAN). Это набор протоколов для передачи сигнальной информации по IP-сетям. Он используется как в обоих видах шлюзов, так и в Softswitch. SIGTRAN реализует функции протокола SCTP (Simple Control Transport Protocol) и уровней адаптации (Adaptation Layers). SCTP отвечает за надежную передачу сигнальной информации, осуществляет управление сигнальным трафиком, обеспечивает безопасность. В функции Adaptation Layers входит передача сигнальной информации от соответствующих сигнальных уровней, использующих услуги SCTP. Эти протоколы ответственны за сегментацию и пакетирование пользовательских данных, защиту от имитации законного пользователя, изменения смысла передаваемой информации и ряд других функций.

## **1.22. Основные особенности NGN**

Если обобщить ряд точек зрения нескольких авторов работ по NGN, то можно предложить пять характерных особенностей этой сети:

- использование в транспортной сети пакетных технологий для передачи всех видов информации;

- применение систем коммутации с распределенной архитектурой, которые отличаются от традиционных (функционально ориентированных) телефонных станций;
- отделение функций, касающихся поддержки всех видов услуг, от коммутации и передачи;
- обеспечение возможности широкополосного доступа для любого пользователя;
- реализация функций эксплуатационного управления (в том числе делегированных пользователям) за счет Web технологий.

Безусловно, существенная особенность NGN – ее способность объединить практически все эксплуатируемые телекоммуникационные сети. Эта возможность показана на рисунке 28 как процесс интеграции сетей, поддерживающих услуги по обмену информацией в трех видах – речь, данные и видео.

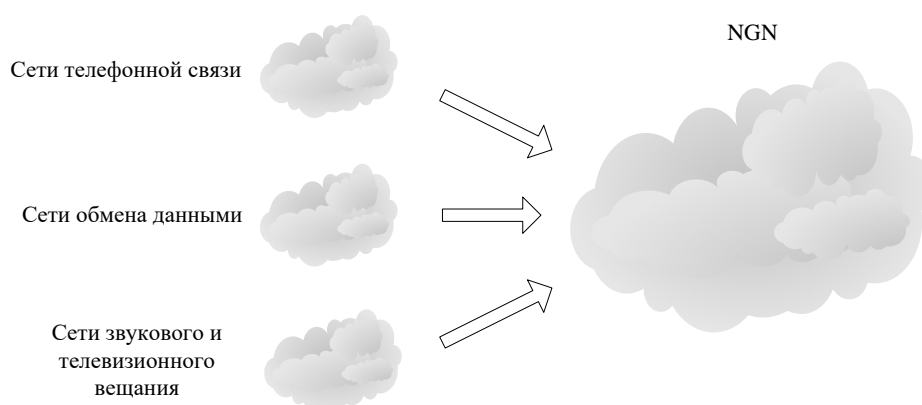


Рис. 28. Интеграция эксплуатируемых телекоммуникационных сетей

Переход к NGN рассматривается большинством эксплуатационных компаний как длительный процесс, основанный на постепенной замене оборудования, которое было предназначено для поддержки технологии "коммутация каналов". Обычно такие процессы представимы  $S$  – образными функциями. Одна из таких функций – логистическая кривая. Она показана на рисунке 29. Логистическая кривая, как и все  $S$  – образные функции, отражает три важных фазы развития системы: начальная  $(T_0, T_1)$ , активное развитие  $(T_1, T_2)$  и насыщение  $(T_2, T_3)$ .

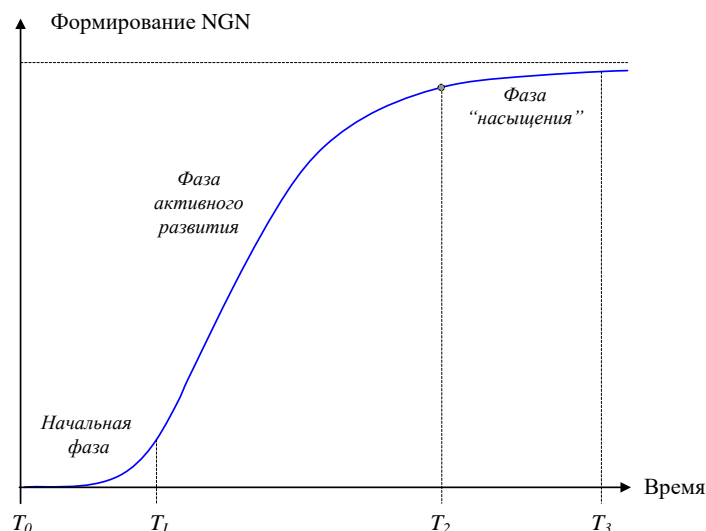


Рис. 29. Процесс формирования NGN

Кривая, приведенная на рисунке 29, отражает общую тенденцию перехода к NGN. Следует учитывать, что на практике эксплуатируемые сети и NGN – до момента  $T_3$  – будут сосуществовать.

### 1.23. Принципы перехода к NGN

Большинство Операторов телекоммуникационных сетей приняли решение о создании – в первую очередь – транзитной (междугородной) IP сети, в которой будут поддерживаться все показатели QoS, свойственные NGN. Пример такого решения приведен на рисунке 30. На этом рисунке отмечены характерные точки, в которых осуществляется смена технологий коммутации.

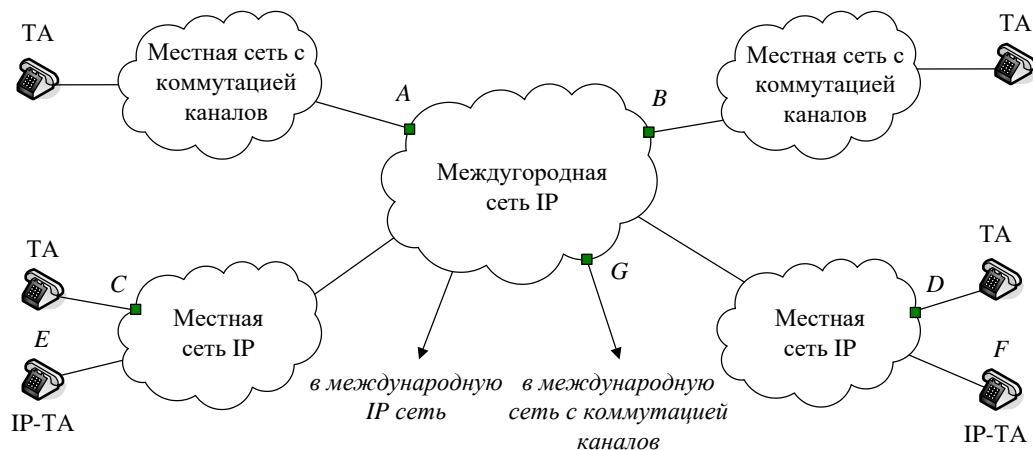


Рис. 30. Точки смены технологий коммутации при формировании NGN

При установлении соединения между ГА, включенными в две местные сети с коммутацией каналов, преобразование технологии осуществляется в точках *A* и *B*. Они расположены на границах IP сети. Для местных IP сетей, преобразование технологии выполняется в разных точках. Если абонент использует обычный ГА, то эта функция выполняется в точках *C* и *D*. Для IP телефона (IP-ГА) эти точки (*E* и *F*) будут расположены в терминале. При международной связи могут устанавливаться соединения с сетями, использующими два вида технологии коммутации – каналов и пакетов. В первом случае смена технологий коммутации осуществляется в точке *G*. Во втором случае граница IP домена располагается в национальной сети другой страны.

Такой подход совпадает с идеей реализации сетей IP-телефонии. Известно, что технология IP позволяет экономить транспортные ресурсы за счет лучшего использования канальных ресурсов. Такое решение экономично в сетях дальней связи – рисунок 31. В этих сетях стоимость транспортных ресурсов заметно превышает затраты на оборудование коммутации. В городских сетях эти виды затрат практически идентичны.

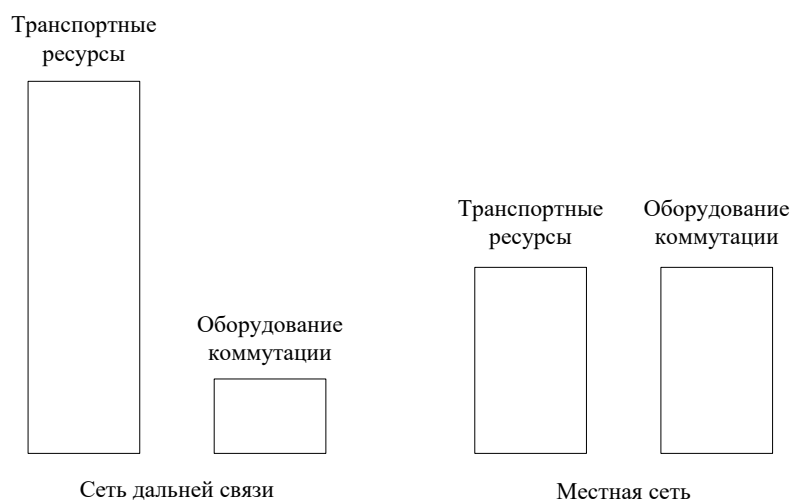


Рис. 31. Затраты на транспортные ресурсы и оборудование коммутации

Существуют и другие сценарии построения NGN. Тем не менее, для любого из возможных сценариев превентивное построение IP сети для передачи трафика дальней связи представляется оптимальным решением.