

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича»**

Кафедра инфокоммуникационных систем

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

Архитектура систем коммутации

(наименование дисциплины)

основная профессиональная образовательная программа:

11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи
(код и наименование направления подготовки /специальности/)

квалификация бакалавр

профиль

Сети связи и системы коммутации

Санкт-Петербург

2017

Содержание

Раздел 1. Эволюция топологии сетей связи.....	3
Цели дисциплины и литература.....	3
Архитектура телефонных сетей.....	4
Архитектура IP-телефонии (Softswitch, IMS).....	9
Архитектура сотовых сетей (СПС).....	15
Построение сети доступа.....	16
Раздел 2. Архитектура городской сети с узлообразованием.....	20
Нумерация.....	20
Сельская телефонная сеть (СТС).....	21
Городская телефонная сеть (ГТС).....	21
Примеры построения телефонной сети.....	22
Раздел 3. Архитектура СПС.....	27
Раздел 4. Декомпозиция систем коммутации.....	27
Раздел 5. Сеть NGN.....	27
Раздел 6. Архитектура IMS.....	27
Список используемой в конспекте литературы:.....	27

Раздел 1. Эволюция топологии сетей связи

Цели дисциплины и литература

Цель дисциплины: изучение архитектуры современных инфокоммуникационных узлов и станций, и других сетевых элементов.

Обучающиеся должны получить знания о принципах построения систем коммутации, архитектуры узлов связи, а так же о актуальных направлениях развития систем коммутации, о конвергенции сетей и услуг связи, о системах коммутации разных поколений, назначений и градаций емкостей.

В ходе обучения рекомендуется ознакомиться с литературой и электронными ресурсами приведенными ниже:

а) основная литература:

1. Гольдштейн Б. С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи. учебник для вузов [Текст] : учебник для вузов / СПб. : БХВ-Петербург, 2014. - 400 с.

2. Гольдштейн Б.С. Системы коммутации. Учебник для ВУЗов. 2-е издание, доп. и испр. //СПб.: БХВ-2004

3. Воцило Ю.В., Б.С. Гольдштейн Б.С., Данилов В.И. Исаев В.И. Расчет TDM-сетей. Пособие по курсовому проектированию. СПб, 2011.

4. Зимин А.В., Фицов В.В., Гойхман В.Ю. Системы коммутации. Цифровая абонентская сигнализация DSS1 сети ISDN учебное пособие. Издательство СПбГУТ, СПб, 2012

б) дополнительная литература:

1. Гольдштейн Б.С., Ехриель И.М., Рерле Р.Д. Интеллектуальные сети// М.: Радио и связь-2005

2. Гольдштейн Б.С., Кучерявый А.Е. Сети связи пост-NGN. СПб: БХВ-Петербург, 2013. – 160 с.

3. Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. SOFTSWITCN СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2006. – 368 с

4. Данилов В. И. Сети и стандарты мобильной связи: учебное пособие СПбГУТ, СПб, 2015

5. Гольдштейн Б. С., Гойхман В. Ю., Столповская Ю. В. Сети NGN. Оборудование IMS: учебное пособие «ТЕЛЕДОМ» ГОУВПО СПбГУТ, 2010

в) программное обеспечение: итерактивный комплекс СОТСБИ-У

г) электронные ресурсы:

1. <http://iks.sut.ru> (справочники и методички, презентации лекций в разделе дисциплины).

2. <http://niits.ru> (разделы: Системы коммутации)

Архитектура телефонных сетей

Принято разделять сети связи на сеть в помещении пользователя, сеть доступа, сеть агрегации, базовую сеть и сеть услуг. Такое разделение можно привести для фиксированной телефонной сети, сети передачи данных, мобильных сетей и конвергентных сетей NGN (рис.1).

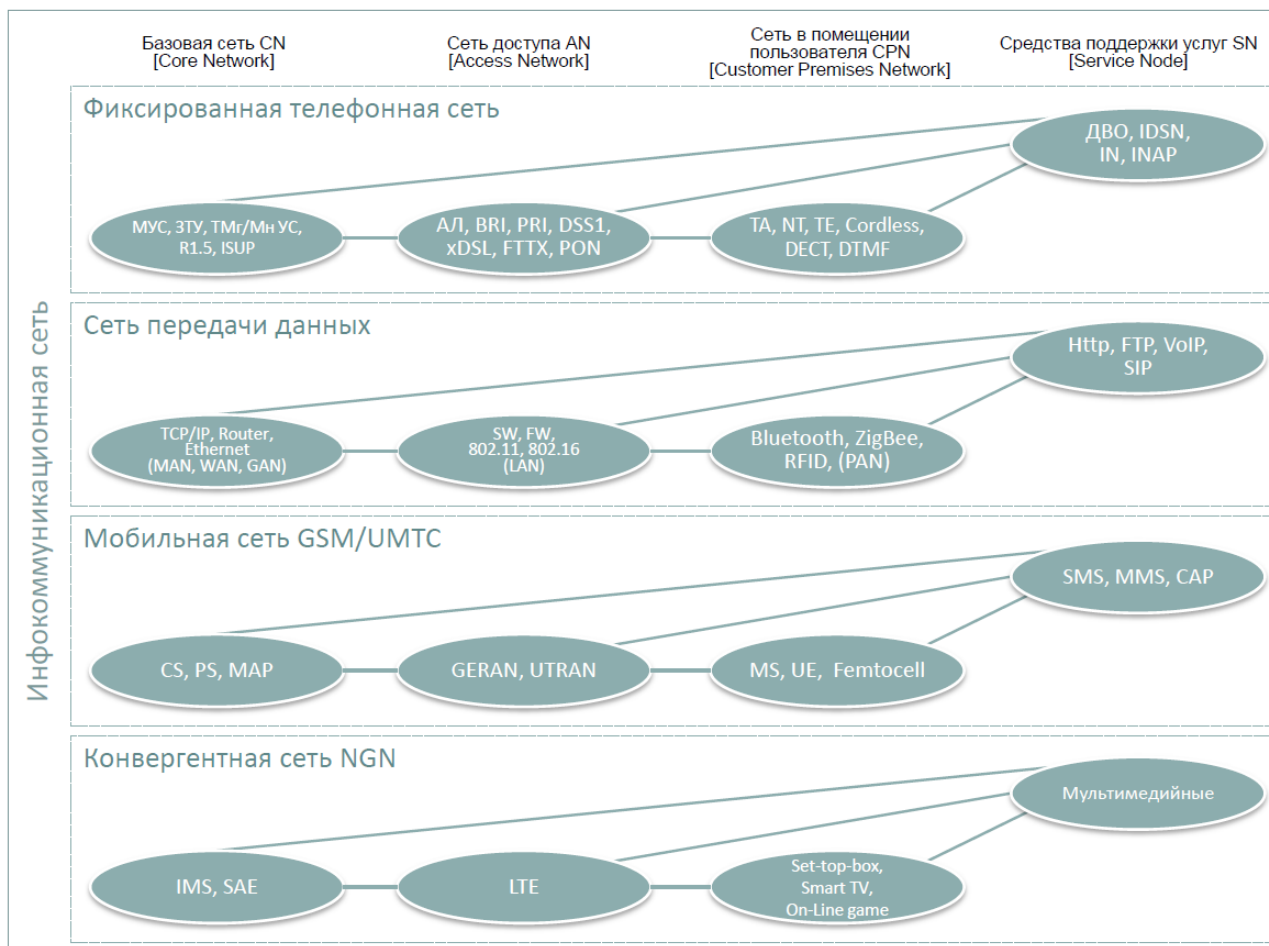


Рис.1. Построение инфокоммуникационной сети

Телефонную сеть связи общего пользования (ССОП) разделяют на уровни, по географическому признаку, на международную, междугороднюю, зонную и местную телефонные сети (рис.2). Эти уровни можно отнести к базовой сети оператора связи. Местные телефонные сети делятся на городские телефонные сети (ГТС) в городе и сельские телефонные сети (СТС) в сельском административном районе. Зонная телефонная сеть необходима для взаимодействия местных телефонных сетей в зоне и для доступа к вышестоящим сетям. Обычно зона соответствует субъекту РФ. Телефонный код ABC идентифицирует зону для установления междугородного вызова. Междугородная телефонная сеть используется для взаимодействия зонных сетей и доступа к международной сети.

Международная телефонная сеть имеет как минимум: два узла связи в европейской части страны и два в азиатской (рис.3). Зонная телефонная сеть построена на зонных

транзитных узлах (ЗТУ), для подключения местных телефонных сетей и сетей сотовой подвижной связи (СПС) в пределах одной телефонной зоны. Местные узлы связи подключаются к ЗТУ с помощью заказно-соединительных линий (ЗСЛ) и соединительных линий междугородной связи (СЛМ).

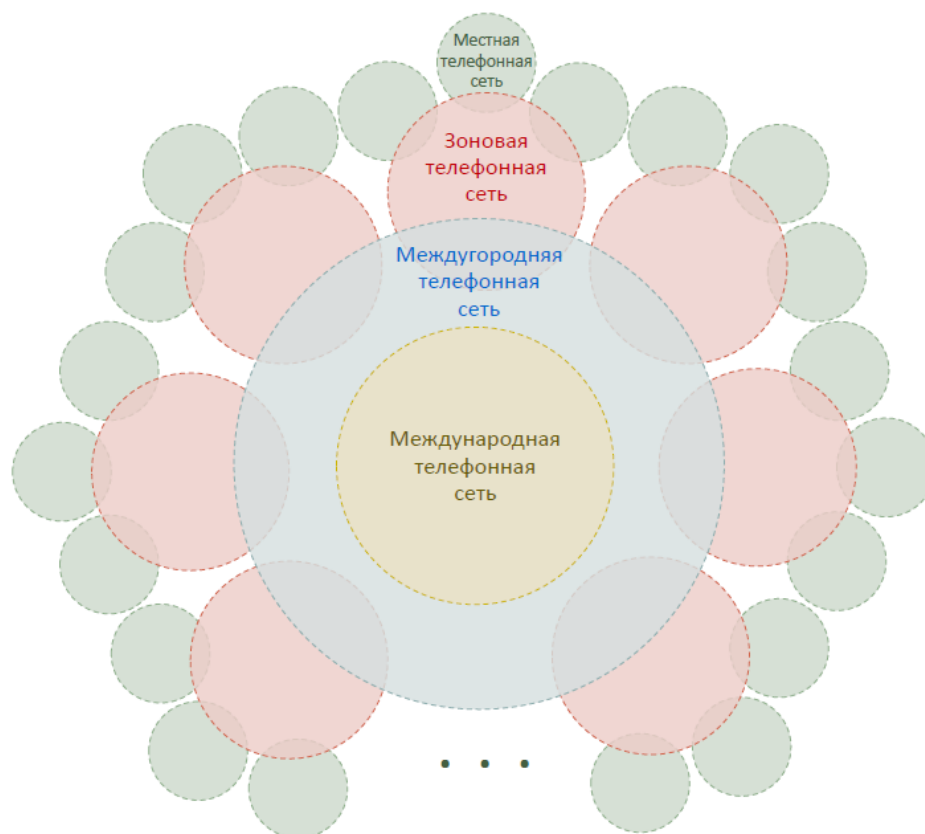


Рис.2. Уровни ССОП

Междугородная и международная сеть построена таким образом чтобы в каждом федеральном округе размещался транзитный междугородный узел связи (ТмГУС). Каждый ТмГУС связан минимум с 6 другими (по одному из каждого федерального органа). ТмГУС имеет выход, минимум, на 2 транзитных международных узла связи (ТмнУС)(рис.3). ТмнУС размещаются не менее чем в 2 федеральных округах европейской части и не менее чем в 2 федеральных округах азиатской части РФ. Все ТмнУС являются смежными (по принципу каждый с каждым).

Местные сети могут быть городскими и сельскими, при этом они строятся по различным принципам, о которых пойдет речь в следующем разделе. На СТС применяются центральные станции (ЦС) в административном центре, узловыe станции (УС) и оконечные станции (ОС). ГТС построена на основе районных автоматических телефонных станциях (РАТС) связанных по различным принципам. Так же в крупных городах применяются узлы исходящей и входящей связи (УИВС)(рис.3).

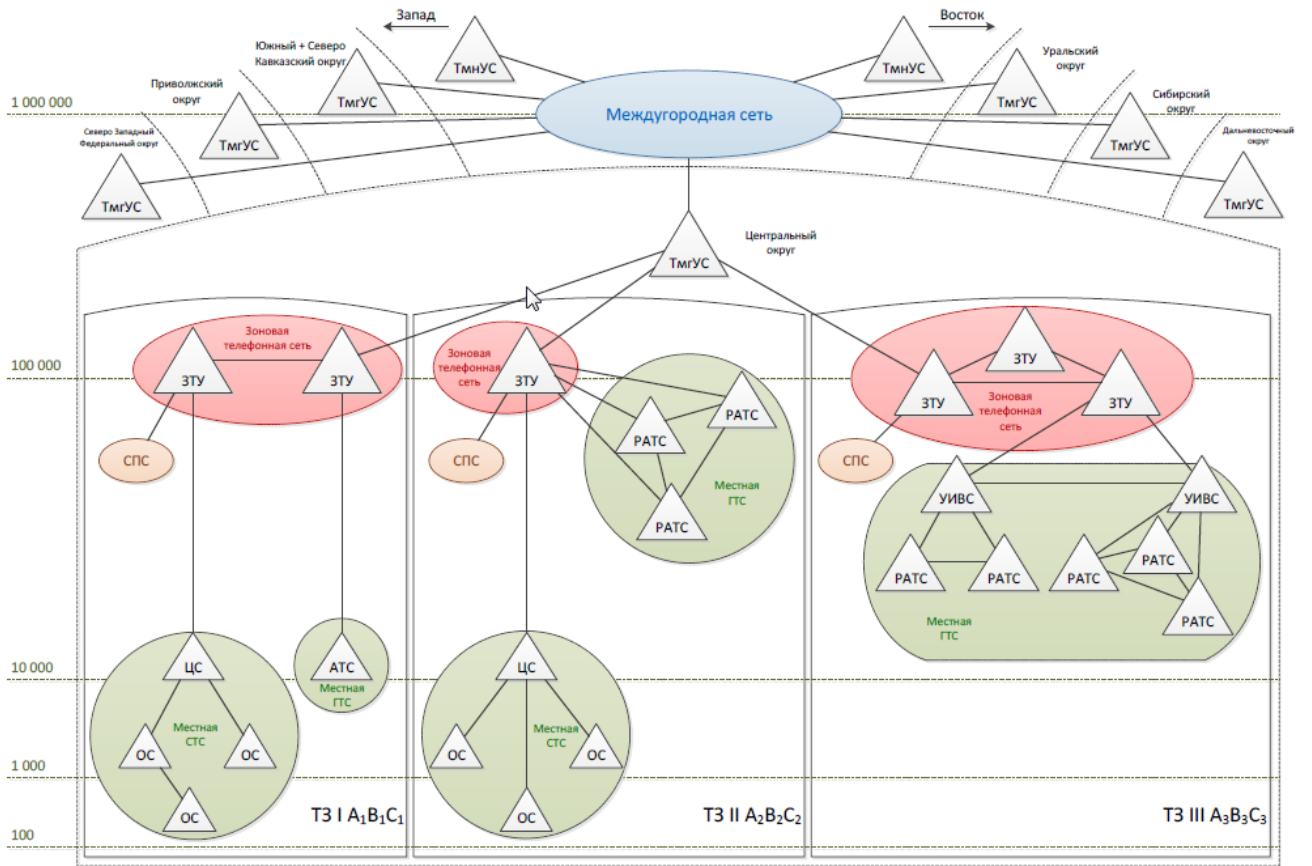


Рис.3. Архитектура ССОП

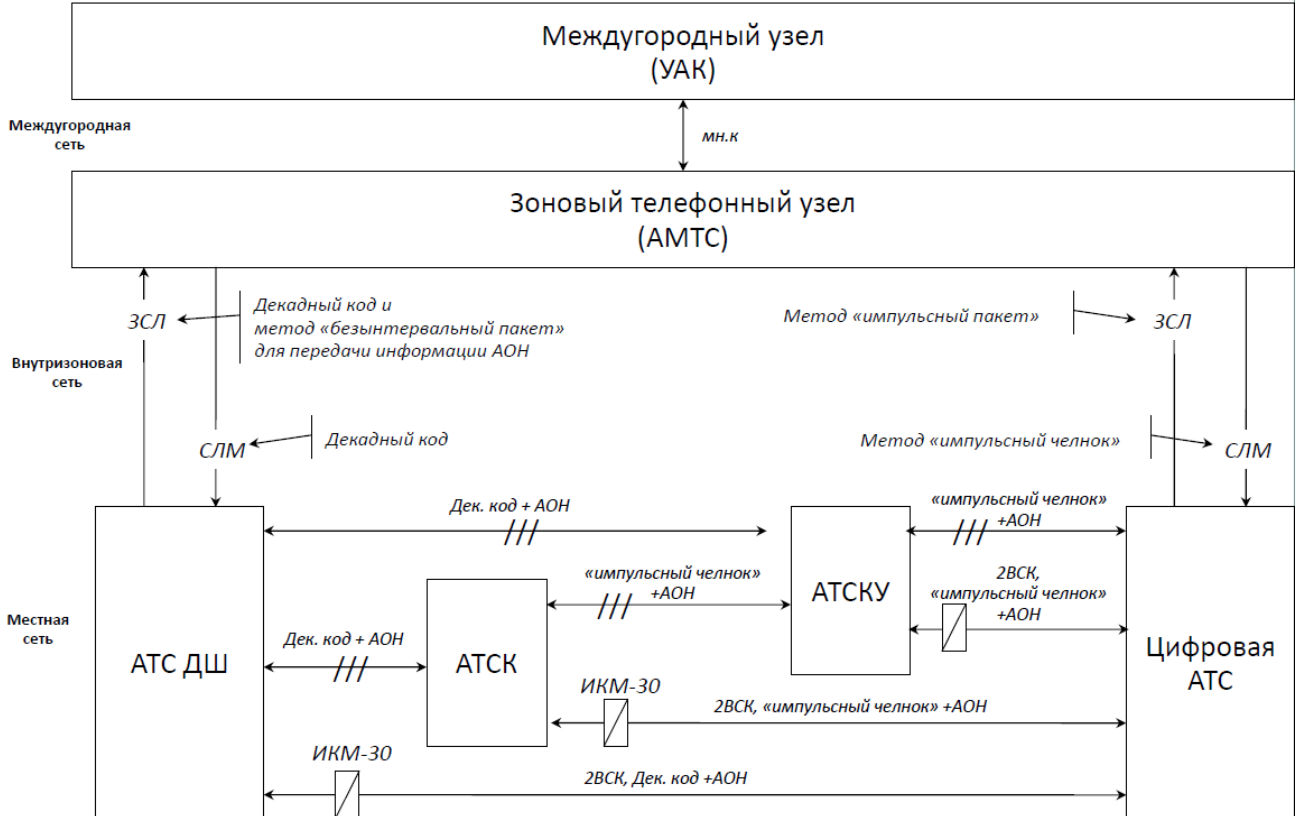


Рис.4. Взаимодействие аналоговых и цифровых АТС в рамках ТфОП

ГТС подключается к ЗТУ – автоматической междугородней телефонной станции (АМТС), и далее к междугороднему узлу связи (УАК). РАТС могут быть различных типов. Например, в ГТС могут одновременно применяться декадно-шаговая АТС (АТС ДШ), координатная АТС (АТСК), координатная-усовершенствованная АТС (АТСКУ) и цифровая АТС (Ц-АТС) (рис.4).

Цифровые местные сети, основанные на Ц-АТС, изменили архитектуру сети и терминологию. Вместо станций пришло понятие Узел связи (УС). Цифровые системы применяются в крупных и половине малых городов РФ. К 2018 году операторы большой четверки (Вымпелком, МегаФон, Мобильные ТелеСистемы и Ростелеком(Теле2) планируют обеспечить цифровой связью населенные пункты емкостью от 10 до 50 тысяч человек. Однако, в малых поселениях, установлены только таксофоны. Таких коммерчески нерентабельных поселений: 1343. Возможно их подключат применяя ВОЛС или спутниковую связь за счет средств Фонда универсального обслуживания, в который операторы отчисляют 1,2% выручки.



Транзитный и оконечный пункты сигнализации

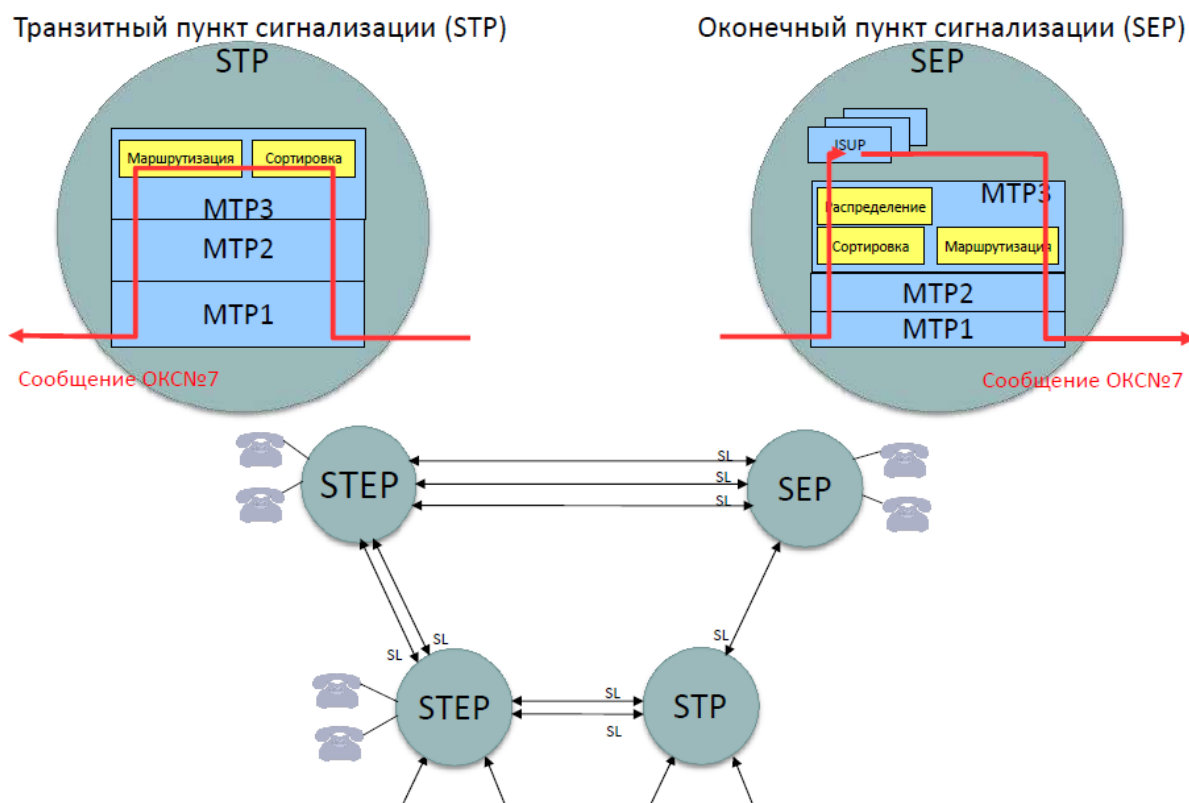


Рис.5. Принцип построения цифровой телефонной сети

Обычно Ц-АТС используют общеканальную систему сигнализации №7 (ОКС№7), в рамках которой, тоже используется собственная терминология. Например, Ц-АТС с поддержкой ОКС№7 получают название пункта сигнализации (SP), а так же разделяют транзитные (STP), оконечные (SEP) и транзитно-оконечные Ц-АТС (STEP)(рис.5). Благодаря технологиям маршрутизации заложенным в ОКС№7 правила построения

архитектуры телефонной сети становятся менее жесткими и упрощаются. Служебные сообщения самостоятельно могут найти необходимый маршрут между Ц-АТС, используя подсистему МТР в ОКС№7. При построении цифровой телефонной сети предполагается такое соединение Ц-АТС друг с другом, чтобы оно обеспечивало наличие одного или нескольких резервных маршрутов.

В 1990х годах в ходе развития ОКС№7 и для решения проблем длительного процесса создания и внедрения дополнительных услуг связи была разработана интеллектуальная сеть (IN) использующая подсистему INAP(рис.6).

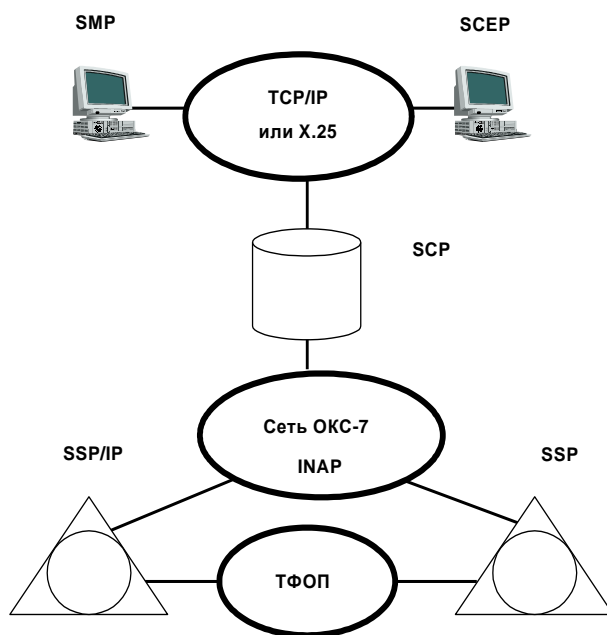


Рис.6. Принцип построения интеллектуальной сети (IN)

Таблица 1.

Классы и названия узлов связи для разных поколений телефонной сети

Аналоговая сеть	Североамериканская классификация до 1984	TDM сеть	IP сеть
МЦК		МЦК	ТМнУС
УАК I	Класс 1	УАК	ТМгУС
УАК II	Класс 2		
АМТС	Класс 4	АМТС	ЗТУ
УВСМ, УИС, УВС, УИВС		ТС	ТУС
УСП, ЦС, УС	Класс 5	ОПТС	ОТУС
РАТС, ОС		ОПС	ОУС

Все Ц-АТС местной сети или зоны получают доступ к пункту управления услугами - базе данных с описанием и обработкой услуг (SCP). Администрирование и эксплуатация SCP проводится с персонального компьютера (ПК) SMP, а разработка новых услуг на компьютере SCEP. SMP и SCEP подключаются к SCP по сети передачи данных TCP/IP или X.25.

Применяется классификация узлов связи и определенные названия для каждого узла связи, однако названия изменялись в ходе развития телефонной сети от аналоговой, к цифровой и VoIP-сети (табл.1). Для сетей NGN и TDM часто используется выражение Узел связи 4 или 5 класса, Softswitch 4 или 5 класса. 4 класс означает транзитный узел (ЗТУ или ТУС), а 5 класс означает окончательный узел (ОТУС, ОУС)

Архитектура IP-телефонии (Softswitch, IMS)

Возможность передавать речь поверх IP-сети (VoIP) и строить полноценные телефонные сети NGN появилась благодаря повсеместному распространению IP-сетей. Обычно оператор доступа в сеть Internet строит свою сеть создавая сеть услуг, базовую сеть (сеть ядра), сеть агрегации, сеть доступа и сеть в помещении пользователя (рис.7). Сеть услуг может представлять из себя ЦОД отдельного контент провайдера. Сеть ядра городского масштаба может быть построена на высокопроизводительных маршрутизаторах соединенных городским оптоволоконным кольцом. А на сетях агрегации и доступа применяются коммутаторы.

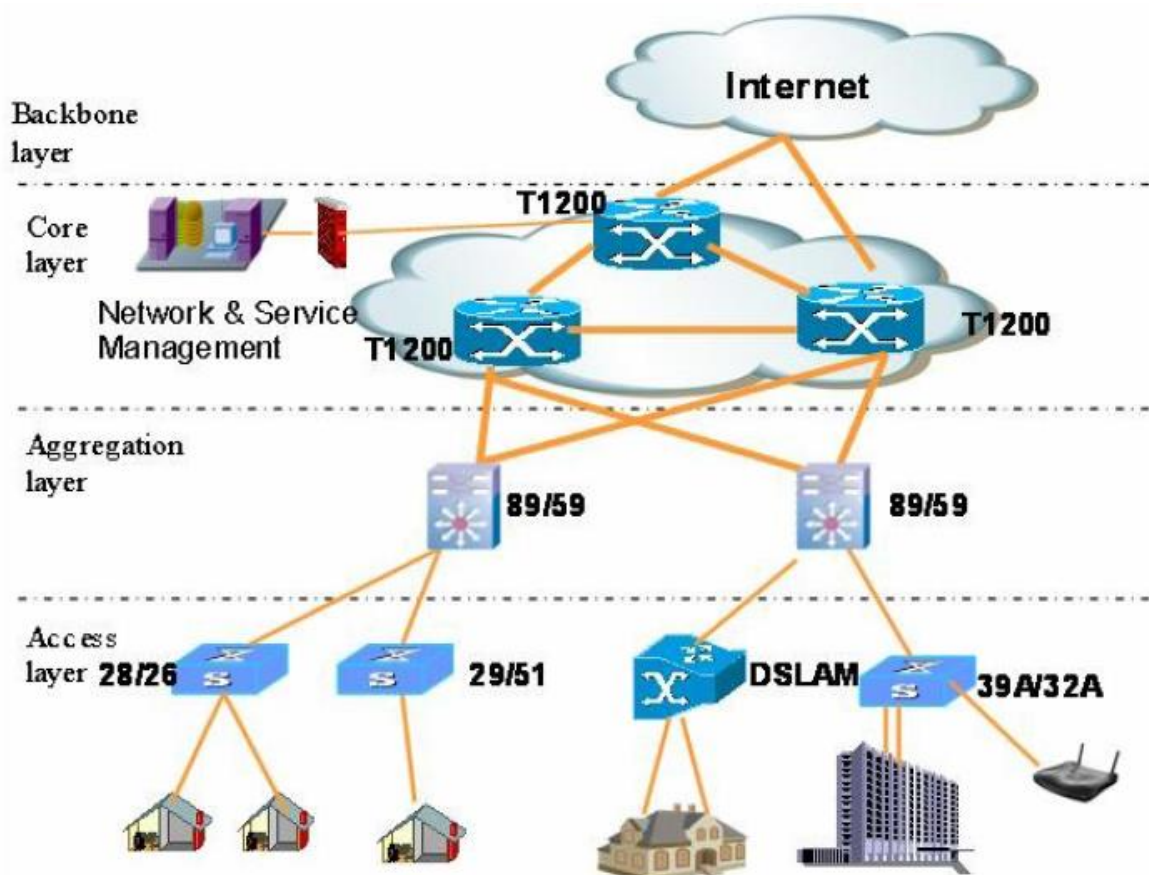


Рис.7. Архитектура сети передачи данных на примере компании ZTE

Для передачи речи по IP-сети в терминале, подключенном к IP сети и оснащенном микрофоном, телефоном и программно-аппаратными средствами мультимедиа происходит кодирование речи (рис.8). Сначала производится аналого-цифровое преобразование (АЦП) сигналов, поступающих от микрофона. Потом компрессия сигнала (для уменьшения требуемой полосы пропускания). Эти преобразования осуществляются в кодеках. Кодеки могут обеспечивать скорость передачи речи от 1.2 до 64 кбит/с. Для формирования пакетов необходимо накопить определенный объем данных, к которым добавляется служебная информация — адрес получателя, порядковый номер пакета на случай, если будет нарушена последовательность доставки, и дополнительные данные для коррекции ошибок. На приеме, для восстановления исходной последовательности и выравнивания интервалов между принятыми пакетами, происходит накопление пакетов. Поскольку стек протоколов UDP/IP оказывает услугу передачи пакетов без установления соединения, пакеты со старшими порядковыми номерами могут прийти раньше, более того, интервал времени между пакетами также может колебаться. Затем удаляются все заголовки пакетов и осуществляется декодирование речи: подавление эха, генерация комфортного шума, полученная последовательность данных декомпрессируется и подвергается ЦАП.

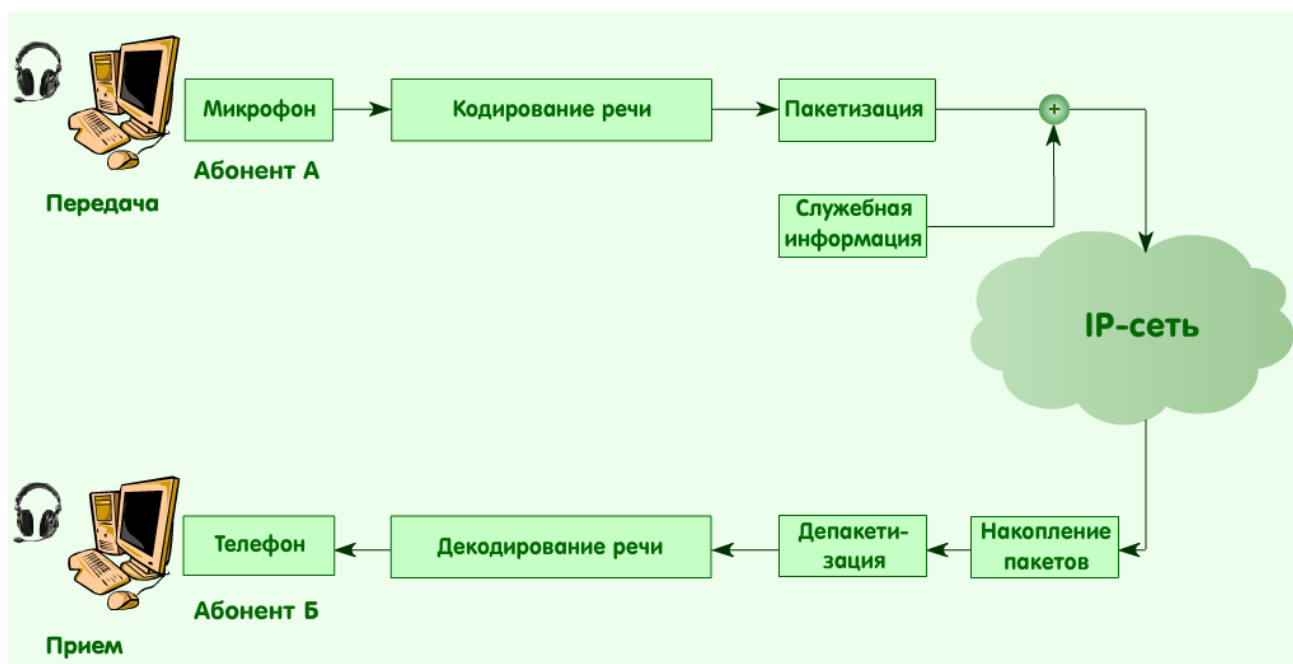


Рис.8. Этапы передачи голоса поверх IP-сети (VoIP)

Терминал абонента - это оборудование пользователя, осуществляющее организацию двусторонней мультимедийного сеанса связи, взаимодействующее с сетью с помощью протокола IP-телефонии, например, SIP. В качестве терминалов могут использоваться - ПК, оснащённый необходимыми аппаратными средствами и программным модулем SIP. Sip телефон – телефон или аналоговый телефон в комплекте с интегрированным устройством доступа. SIP сервер выполняет функции по обслуживанию вызовов, а также по предоставлению пользователям дополнительных услуг. Установление вызова в основном осуществляется через один или несколько SIP-серверов(рис.9). Речевая

информация передается через IP сеть без участия SIP серверов. В зависимости от конфигурации SIP серверов в рамках установленного диалога терминалы могут обмениваться сообщениями протокола SIP, минуя SIP сервера.

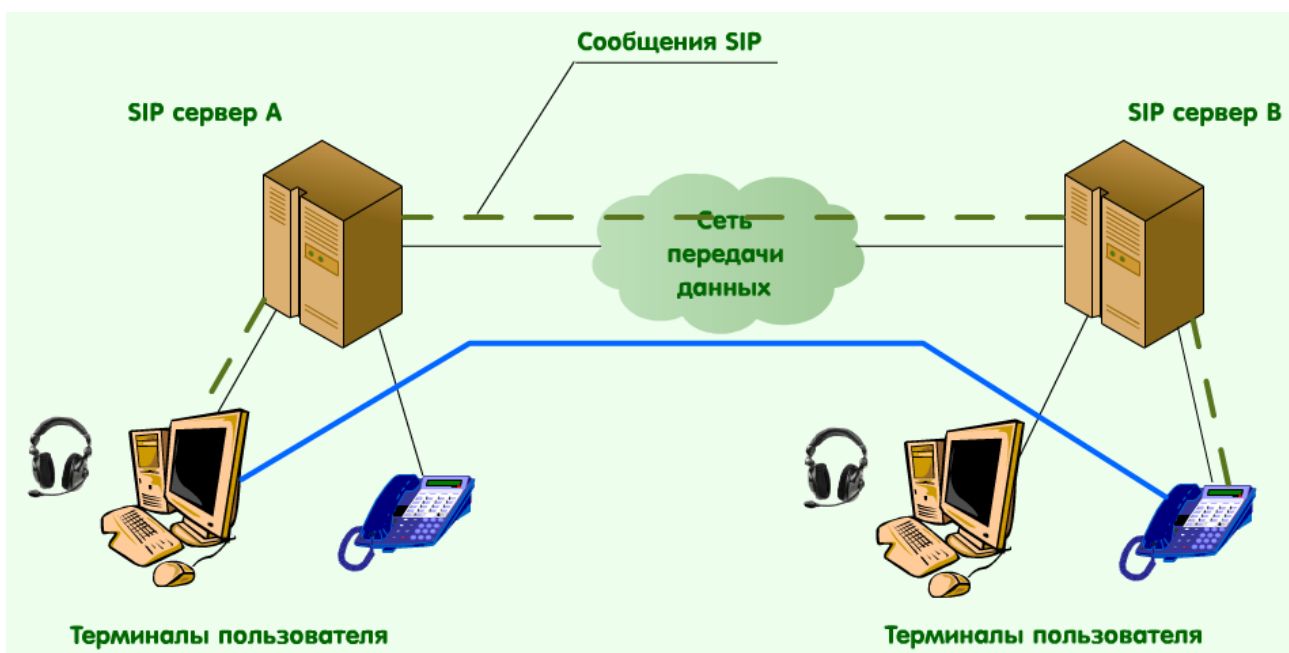


Рис.9. Принцип работы IP-телефонии

По мере развития первых сетей IP-телефонии и организации их взаимодействия друг с другом и с телефонными сетями, использующими технологию с коммутацией каналов и мультиплексирование с временным разделением каналов (Time Division Multiplexing, TDM), потребовалось отдельное устройство – шлюз IP-телефонии.

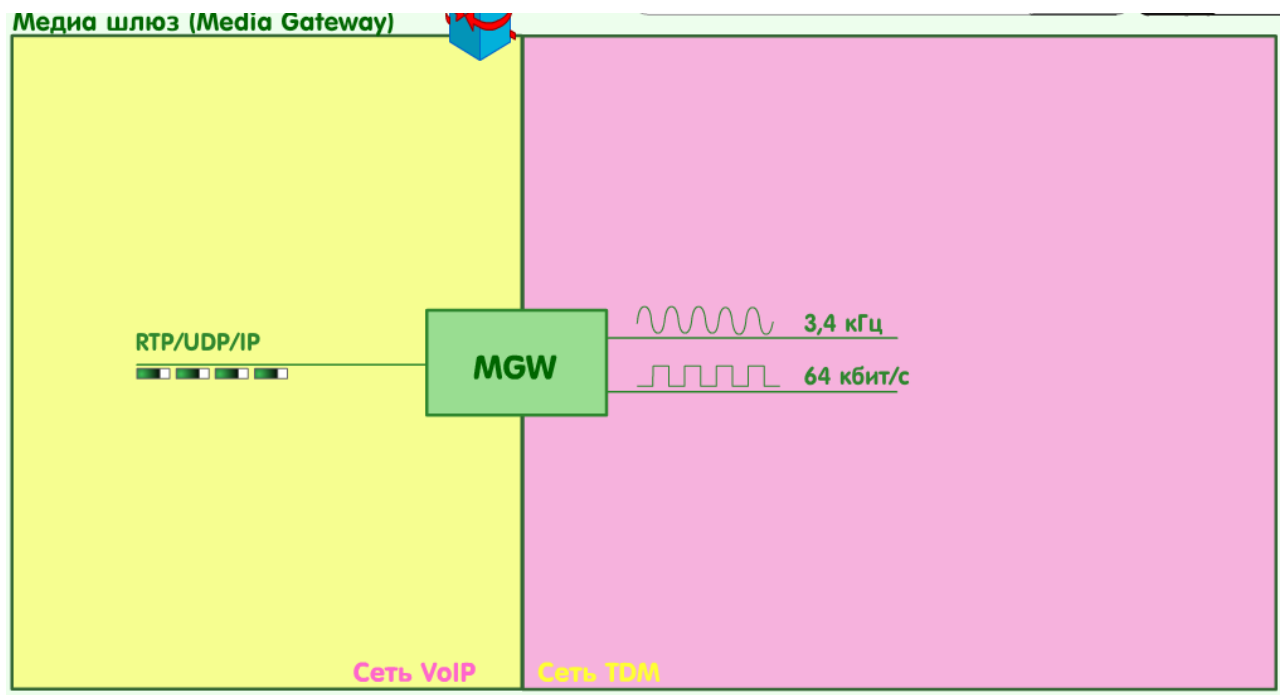


Рис.10. Назначение медиа-шлюза

Шлюз выполняет две основные задачи – преобразование речи и преобразование сигнализации. Соответственно, и можно назвать шлюз – в первом случае используется медиа шлюз (MG) (рис.10), а во втором шлюз сигнализации (SG)(рис.11). Медиа-шлюз позволяет преобразовать речь из аналогового или цифрового вида в поток пакетов протокола RTP. При взаимодействии сетей различных стандартов шлюз сигнализации осуществляет конвертацию протоколов

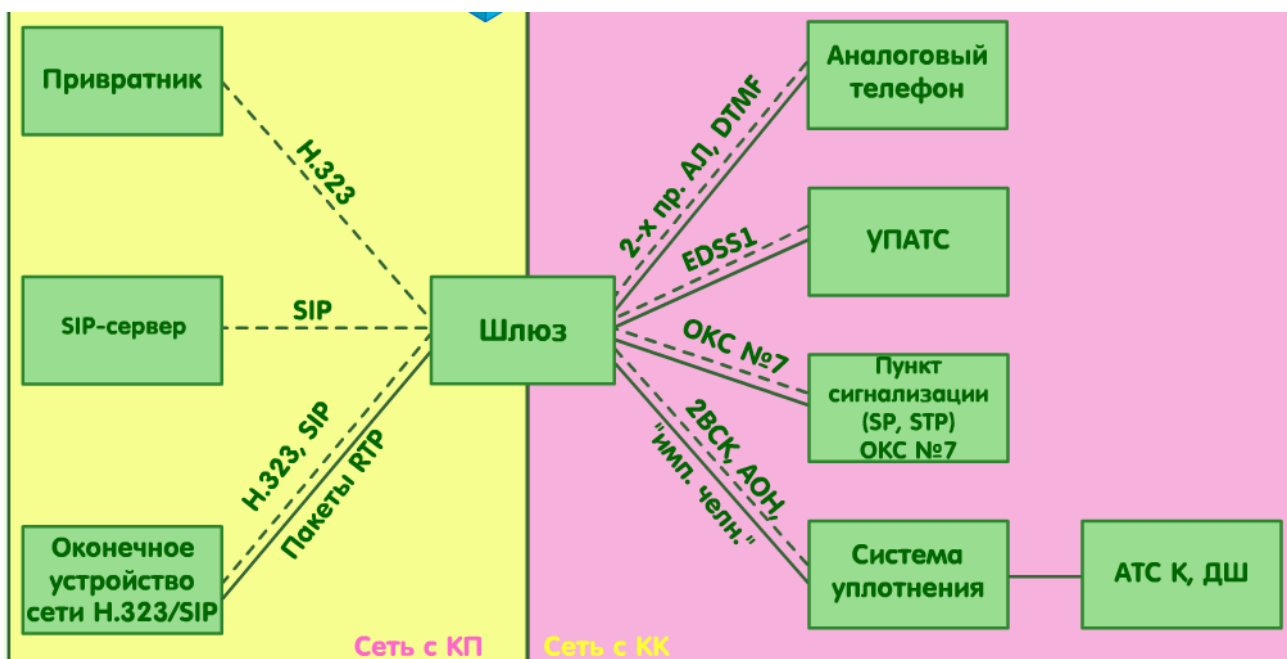


Рис.11. Назначение шлюза сигнализации

Шлюз IP-телефонии, осуществляющий взаимодействие между сетями разных стандартов (H.323, SIP, ОКС№7) и технологий (технология коммутации каналов и коммутации пакетов), обрабатывает сигнализацию, выполняет управление обслуживанием вызова и транскодирование мультимедийных потоков в едином блоке, что создает проблему масштабируемости сети при росте трафика. Для того чтобы справиться с этими проблемами была разработана концепция декомпозиции шлюза – разделения на отдельные физические объекты – медиа-шлюз и шлюз сигнализации. В случае если медиа шлюз находится на границе между сетями NGN и TDM, его называют транспортным шлюзом (TG). А если через медиа шлюз подключают абонентов – то шлюзом доступа (AG). Благодаря декомпозиции шлюза удалось эффективно осуществить взаимодействие между сетями ТфОП с коммутацией каналов (КК) и сетью NGN (рис.12), в основе которой находится программный коммутатор (Softswitch). Первым, кто предложил архитектуру Softswitch, основанную на принципе декомпозиции шлюза, был Международный Softswitch-консорциум ISC (International Softswitch Consortiu), переименованный позже в IPCC (International Packet Communication Consortium) и занимающийся продвижением соответствующих стандартов Softswitch и обеспечением функциональной совместимости различных технологий Softswitch. Архитектура Softswitch описывает как физические устройства (SG,TG,AG, контроллер шлюзов (MGC), сервер приложений(AS), медиа

сервер (MS)), так и их функциональные объекты (SIP-прокси сервер (SPS-F), функцию маршрутизации (R-F) и другие)(рис.13).

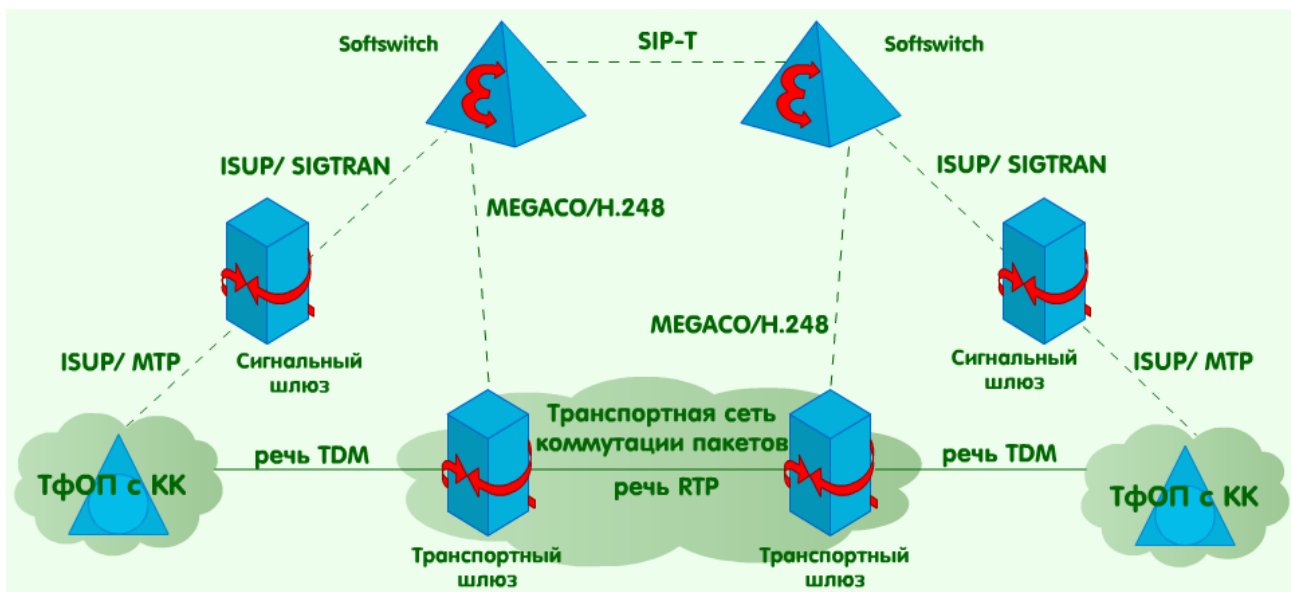


Рис.12. Архитектура взаимодействия сетей NGN и ТфОП

Контроллер медиашлюзов MGC известен под разными именами: Softswitch, Call Agent, Call Controller, Telephone Server и др. Функциональные объекты: MGC-F, SPS-F, CA-F, IW-F, R-F и A-F (рис.13) - могут совмещаться в одной физической платформе или же распределяться по разным устройствам, которые в совокупности дают итоговое техническое решение MGC.

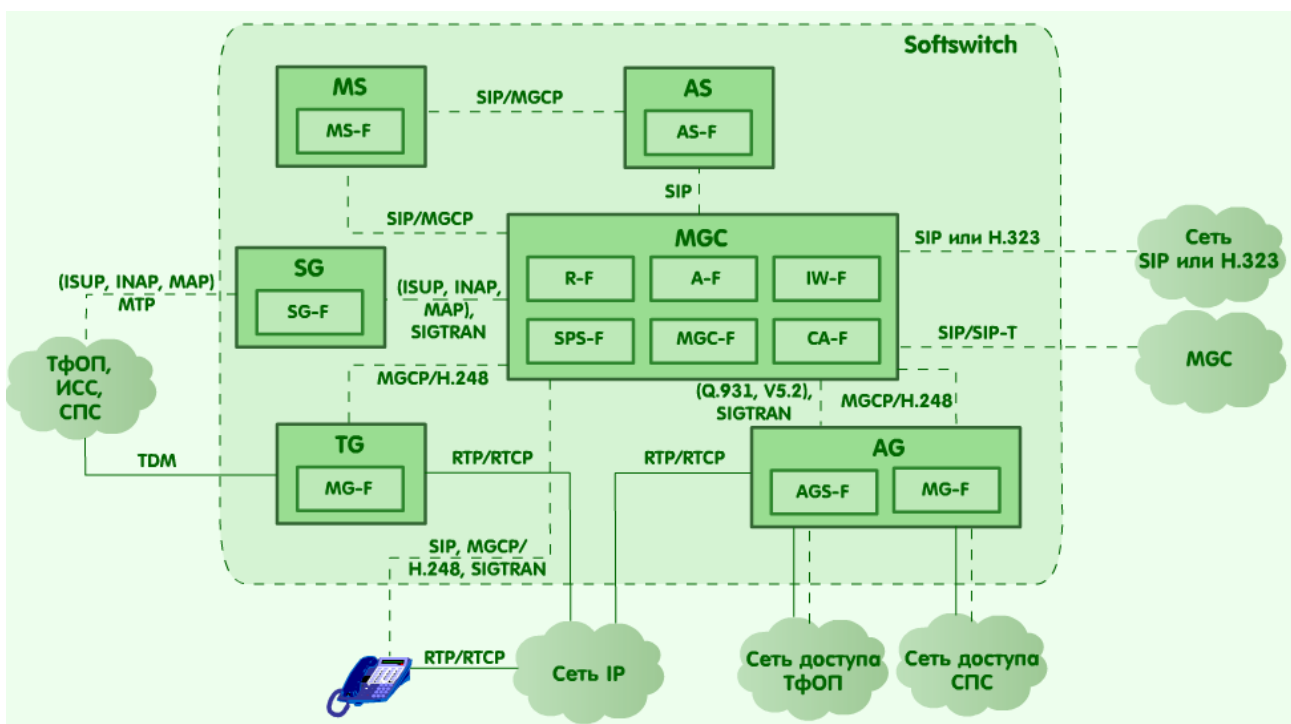


Рис.13. Архитектура Softswitch

Сеть связи следующего поколения NGN – это сеть, единая для всех видов доступа (фиксированный, мобильный, терминалы передачи речи или данных, различные протоколы доступа) и осуществляющая передачу всех видов трафика (данные, речь, видео) с необходимым качеством. Очередной шаг к построению сети следующего поколения это появление концепции IMS. Концепция IMS (IP Multimedia Subsystem) возникла в результате эволюции сетей, построенных на базе технологии Softswitch, к которой была добавлена область управления мультимедийными сеансами на базе протокола SIP. IMS предоставляет широкий спектр мультимедийных услуг, но основная услуга IMS – двусторонняя аудио/видео связь.

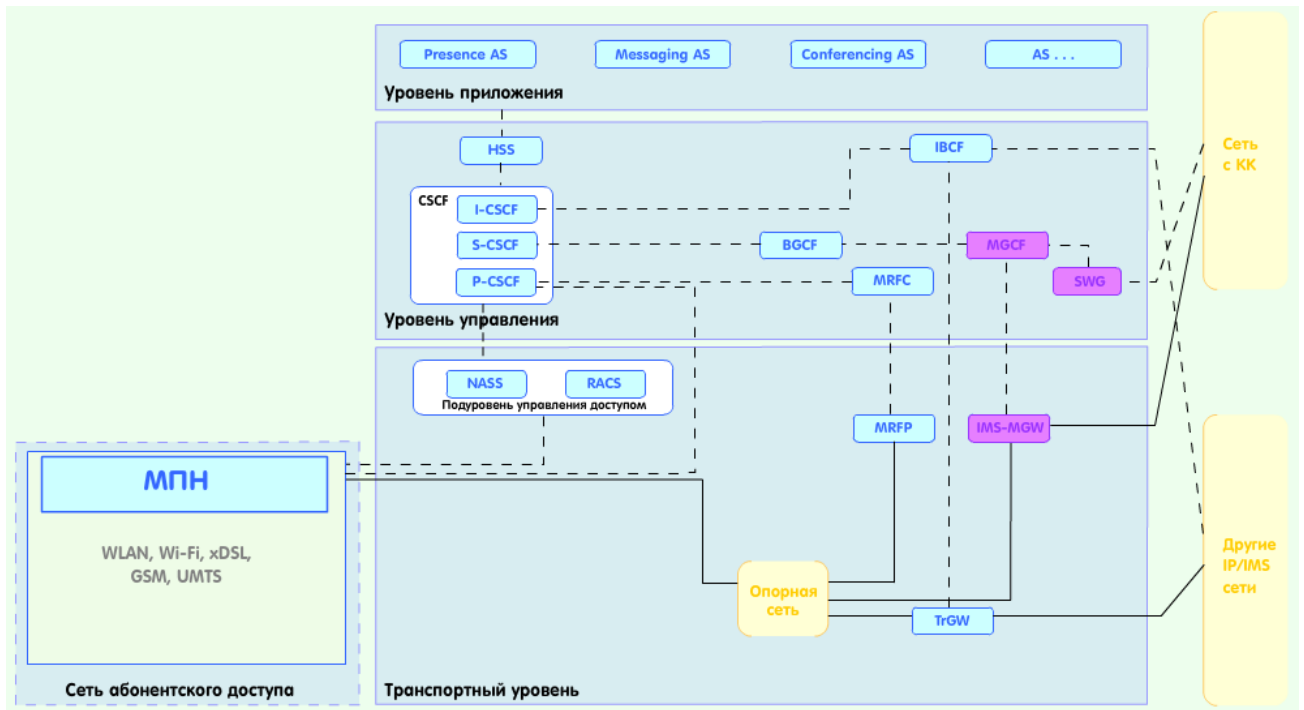


Рис.14. Архитектура IMS

Впервые технология IMS была специфицирована в стандартах 3GPP Release 5 и обеспечивала поддержку абонентов сетей GSM/GPRS (2.5 G) и UMTS (3G). В Release 6, 7 рассмотрены вопросы взаимодействия IMS с сетями, имеющими различные технологии доступа (GERAN, UTRAN, WLAN/Wi-Fi, xDSL)(рис.14), сделаны шаги в направлении конвергенции фиксированной и мобильной связи (Fixed Mobile Convergence): введена аутентификация абонентов фиксированных сетей. В качестве сети абонентского доступа в IMS может использоваться любая технология, которая обеспечивает транспортировку по IP сети пользовательской (пакетов RTP) и сигнальной (сообщений SIP) информации между пользовательским оборудованием и объектами IMS.

Для подключения аналоговых абонентов телефонной сети к IMS необходимо обеспечить возможность регистрации абонентов в единой базе данных HSS, преобразование сигнальной и пользовательской информации в сообщения SIP и пакеты RTP соответственно. Эти функции может выполнять Медиатор плана нумерации (МПН), который является элементом сети абонентского доступа IMS или шлюз доступа. К МПН с

одной стороны подключены аналоговые абоненты, таксофоны, цифровые СЛ от оборудования абонентского доступа (УПАТС, ПС)(рис.15), а с другой - интерфейсы Ethernet, по которым передается пользовательский трафик (речь) в виде пакетов RTP и сигнальные сообщения протокола SIP.

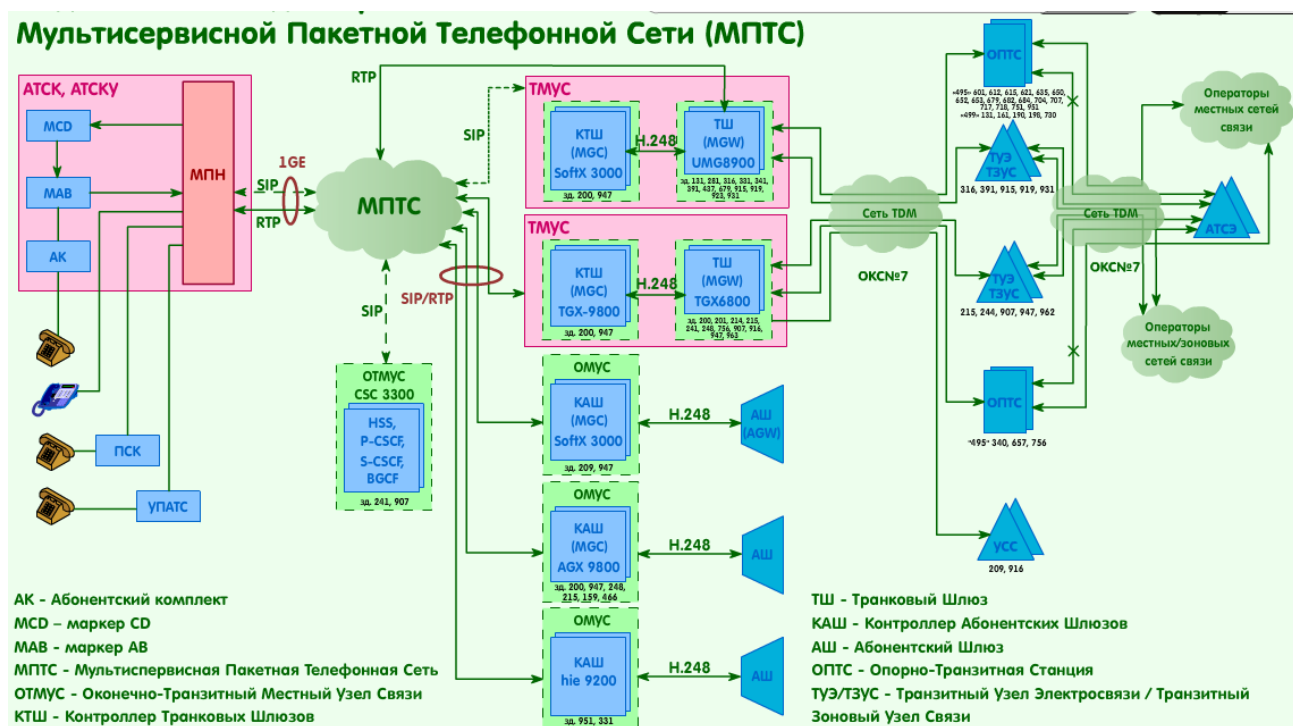


Рис.15. Топология построения мультисервисной пакетной телефонной сети г.Москва

В Москве система IMS выступает в роли OTMUC (оконечно-транзитного местного узла связи), который через TMUC взаимодействует с сетью с коммутацией каналов. При этом TMUC являются Softswitch, в составе контроллера транспортного шлюза (КТШ, MGC) и транспортного шлюза (ТШ, TG)(рис.15).

Архитектура сотовых сетей (СПС)

Развитие базовой сети (Core Network – CN) подвижной связи (СПС) стандарта GSM 900/1800 (GERAN) прошло несколько этапов. Первый этап, относится к началу девяностых годов – это сети поколения 2G (2 Generation), где существовал один домен коммутации каналов (КК, CS, Circuit Switched), и оказывались услуги передачи речи и коротких сообщений, а в качестве коммутатора использовался узел коммутации сети подвижной связи (Mobile Switching Center - MSC), реализованный с использованием технологии коммутации каналов.

Для оказания услуг передачи данных на базе протокола IP к домену коммутации каналов (КК, CS) добавляется домен коммутации пакетов (КП, PS, Packet Switched), состоящий из оборудования GPRS (General Packet Radio Service) – службы пакетной передачи данных через радиointерфейс. GPRS обслуживается узлами SGSN (Serving GPRS Support Node) и GGSN (Gateway GPRS Support Node)(рис.16). Стандарт GSM с

технологией GPRS занимает промежуточное положение между вторым и третьим поколениями мобильной связи, поэтому нередко называется поколением 2,5G.

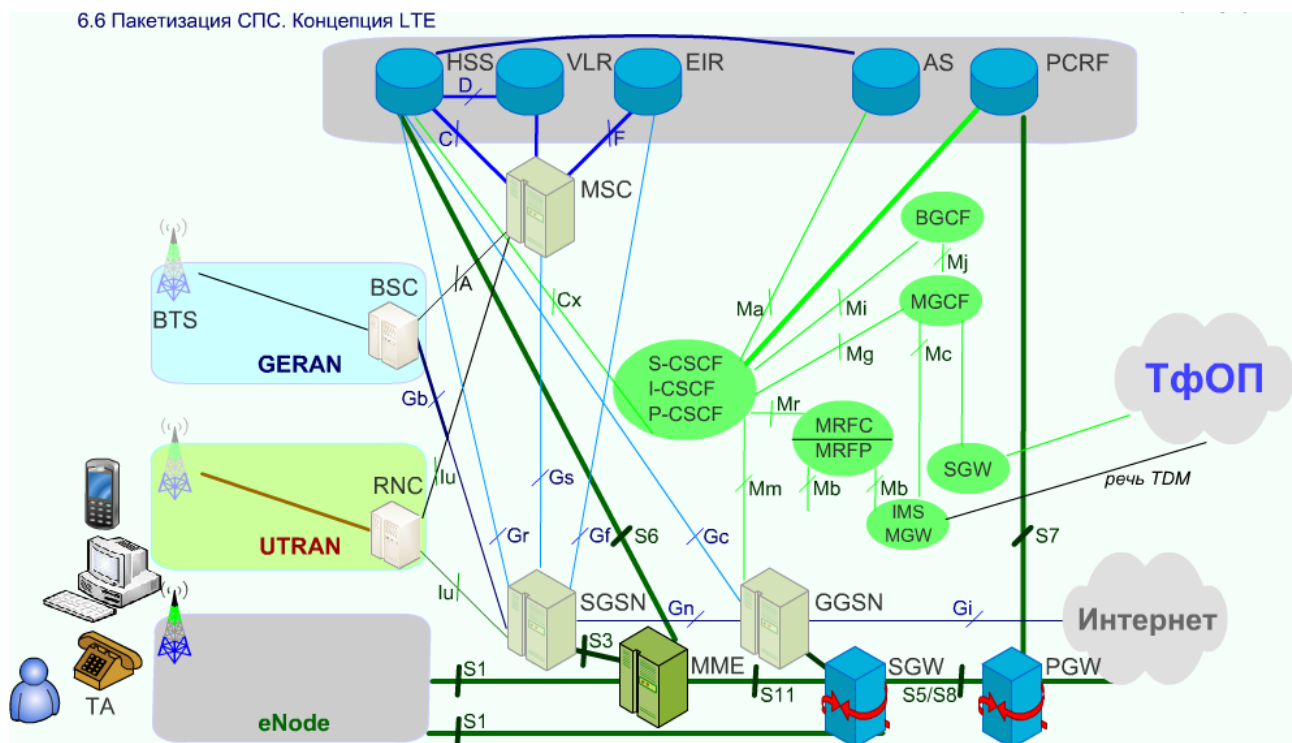


Рис.16. Архитектура СПС 2-4G

Следующим этапом эволюции сети мобильной связи является построение универсальной мобильной телекоммуникационной системы - сети поколения 3G UMTS (UTRAN, Universal Terrestrial Radio Access Network). Далее сеть СПС, стала строиться на основе пакетной коммутации, что было описано в концепции LTE. Основным компонентом архитектуры LTE является Evolved Packet Core (EPC), которое служит эквивалентом сети GPRS. Компонентами EPC являются MME (узел управления мобильностью), SGW (обслуживающий шлюз), PGW (пакетный шлюз) и PCRF (узел выставления счетов абонентам)(рис.16). Сеть доступа обеспечивается базовыми станциями 4G - eNodeB.

Построение сети доступа

Сеть доступа позволяет подключать терминалы абонентов к узлу связи (АТС), напрямую или через узел доступа. Например, к базовой сети можно подключить аналоговый телефонный аппарат по медному кабелю с каналом в 3,4 кГц, или цифровой ISDN-терминал по каналу 144 кбит/с (2B+D), или сеть радиодоступа по каналу радиодоступа, и потом по проводному каналу 64 кбит/с (B)(рис.17).

Для цифровой сети доступа (ISDN) были стандартизированы интерфейсы включения оборудования. Например, цифровой ISDN-терминал (TE1) подключался по T-интерфейсу, а аналоговый телефонный аппарат(TE2) по R-интерфейсу (рис.18).

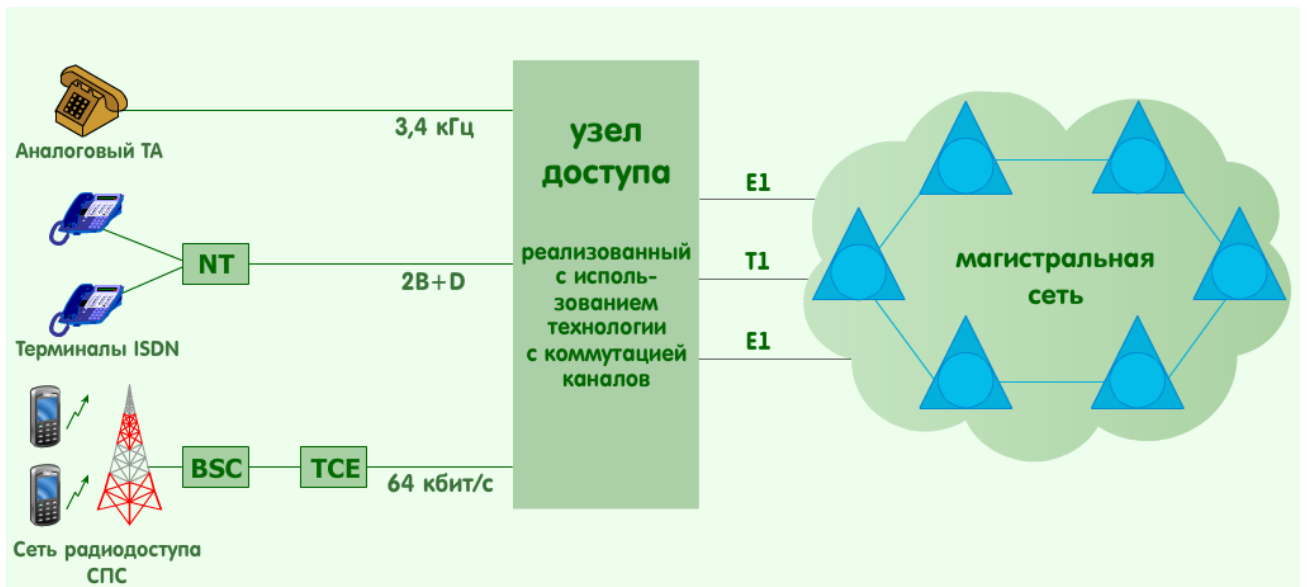
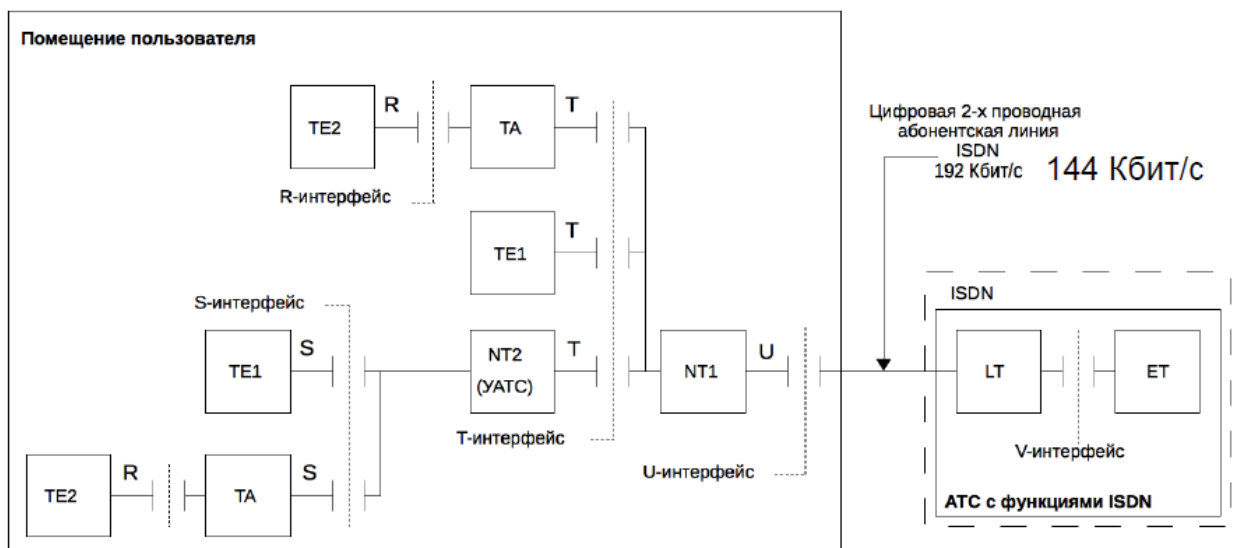


Рис.17. Способы подключения абонентов в ССОП

Цифровые линии ISDN



- TE1 — терминал ISDN
- TE2 — несовместимый с ISDN терминал
- TA — терминальный адаптер для подключения несовместимых с ISDN терминалов
- NT1 — сетевое окончание уровня 1
- NT2 — сетевое окончание уровней 2,3
- LT — линейное окончание
- ET — станционное окончание

Рис.18. Интерфейсы подключения абонентов к сети ISDN

С развитием технологий кодирования и изготовления модемов для передачи данных по аналоговому каналу появилась технология цифровой абонентской линии (xDSL). Когда применялась старая аналоговая линия для передачи речи в диапазоне до 3,4кГц, а последующие частотные диапазоны использовались для передачи данных насколько это позволяли возникающие в канале помехи. Для разделения частотных сигналов применялся разветвитель (splitter). На стороне абонента устанавливался DSL маршрутизатор для подключения абонентских устройств передачи данных, а на стороне АТС DSLAM модем (рис.19).

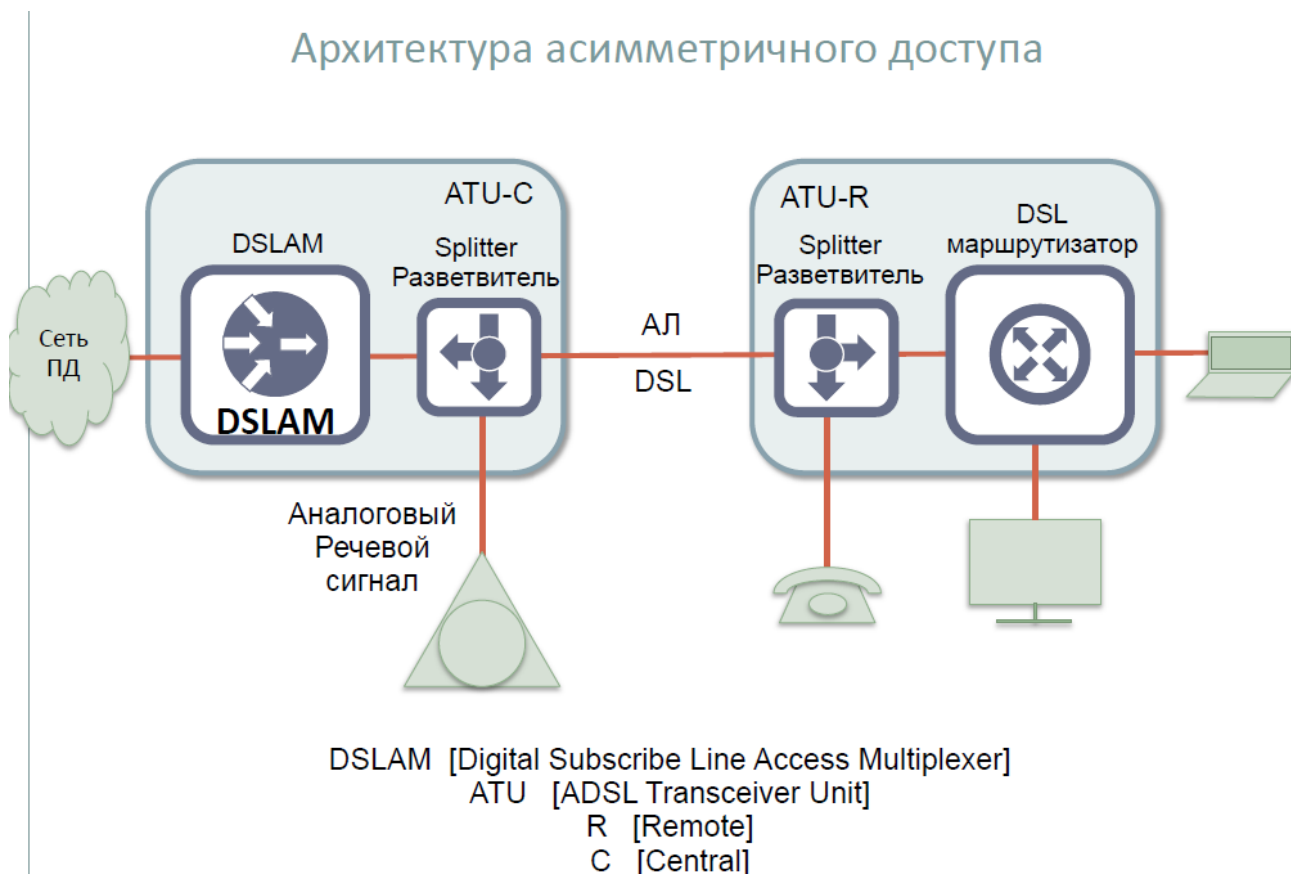


Рис.19. Архитектура асимметричного подключения абонента по технологии xDSL

По мере удешевления оптического волокна и увеличения дальности передачи по нему, стало возможным его применение на сети абонентского доступа. Наибольшую популярность получила технология пассивной оптической сети (PON). Активное оборудование (OLT) генерирует с АТС оптический сигнал, пассивный оптический разветвитель размножает этот сигнал на 128 устройств. Абонентское устройство (ONT) принимает только тот сигнал, который был предназначен данному пользователю (рис.20). Передача оптического сигнала для каждого абонента может вестись на своей длине волны оптического сигнала. OLT передает в сеть сразу все сигналы, а ONT генерирует сигнал на заданной длине волны (рис.21).

Архитектура PON

Станционная сторона

Абонентская сторона

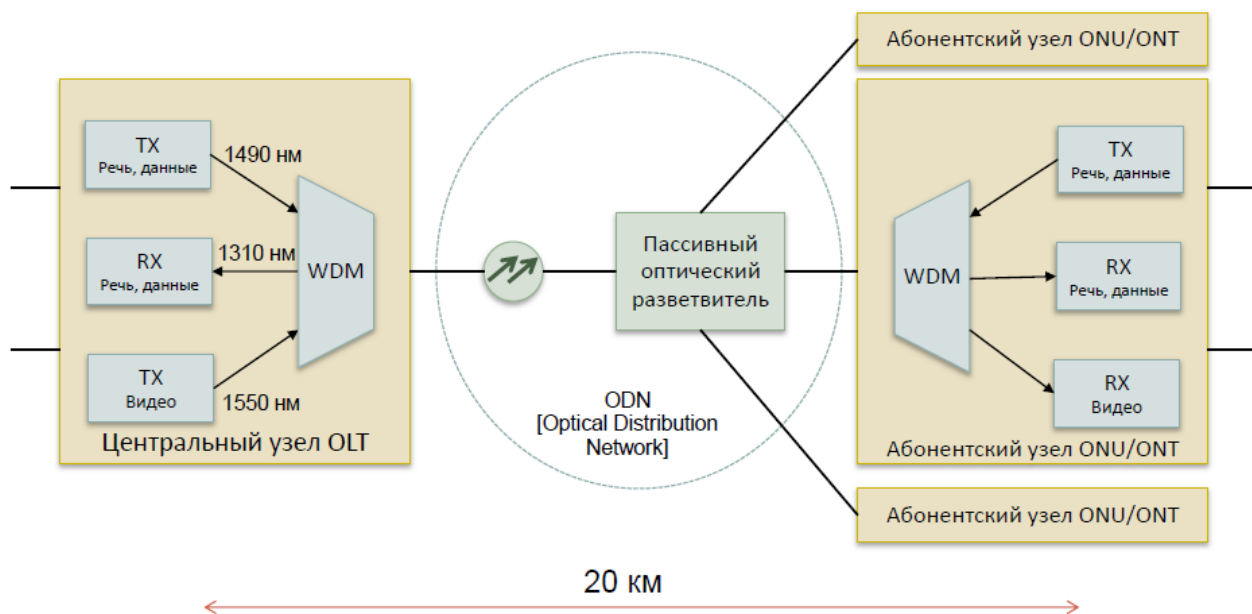


Рис.20. Архитектура подключения абонента по технологии PON

Механизм TDM-PON

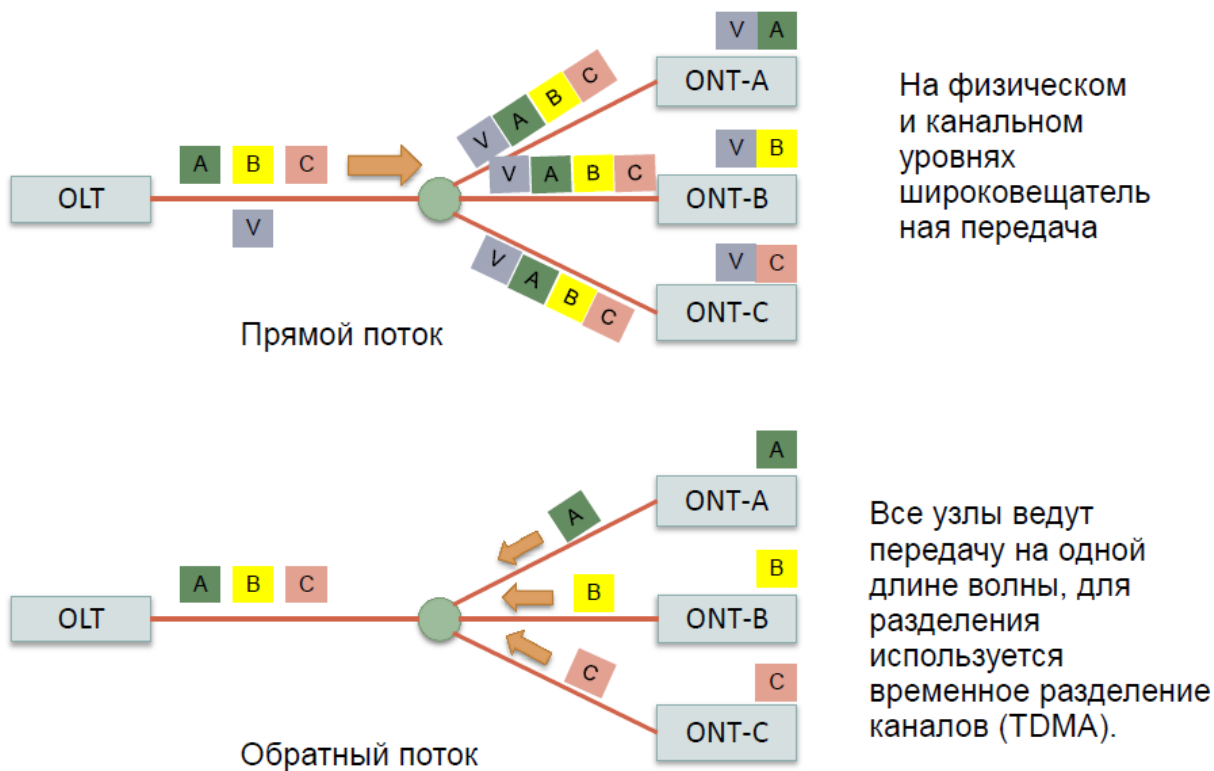


Рис.21. Принцип работы оборудования PON (OLT и ONT)

В помещении пользователя ONT позволяет подключить аналоговый телефонный аппарат, и локальную сеть (рис.22). Иногда в ONT подключают домашний маршрутизатор с поддержкой WiFi для обеспечения доступа беспроводным устройствам, а так же для расширения числа подключаемых проводных устройств. По локальной домашней сети можно подключить ПК и телевизор. Если телевизор старого поколения, то применяется специальный адаптер для преобразования телевизионного сигнала или предоставления услуг кабельного ТВ (IPTV) – set-top box (STB).

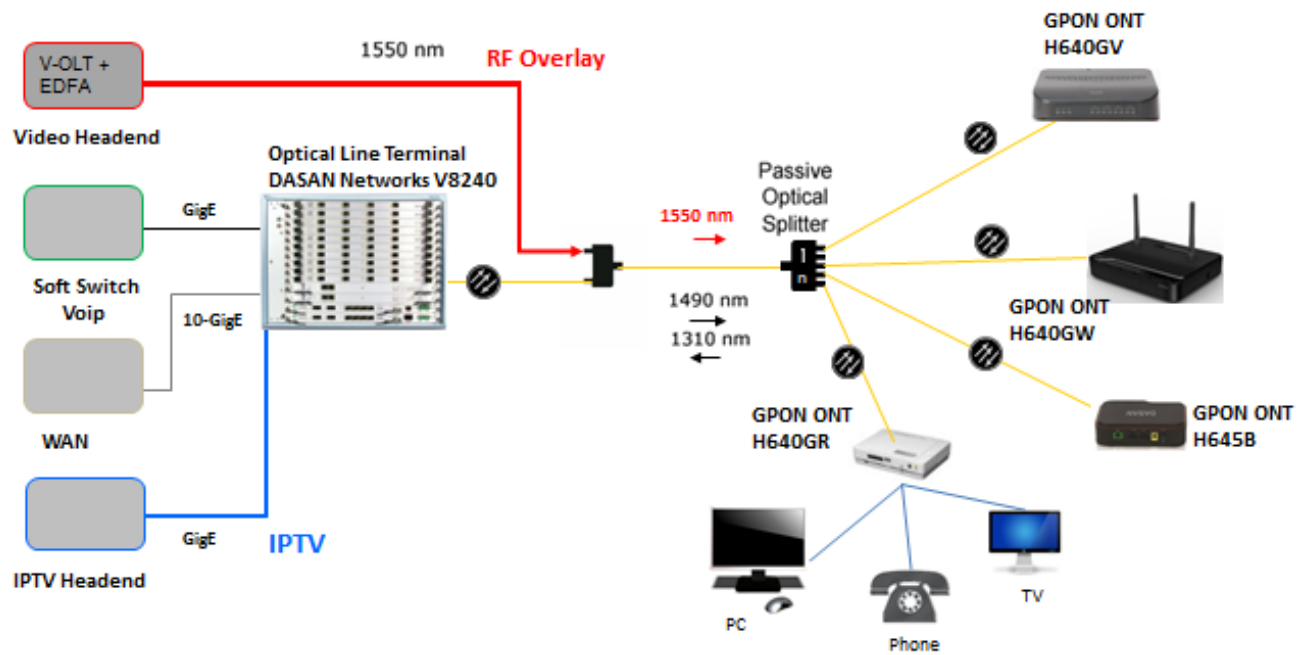


Рис.22. Пример подключения терминалов абонента по технологии PON