

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра Автоматическая электросвязь

Специальность: Радиотехника, электроника и телекоммуникации

Допущен к защите

Зав. кафедрой АЭС

Чежимбаева К.С. к.т.н., доцент

подпись « ____ » _____ 2014г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

пояснительная записка

Тема Анализ методов оценки параметров системы мониторинга сетей NGN

Магистрант _____ Байгутов Г.Н.

подпись

(Ф.И.О.)

Содержание

Введение.....	5
1 Анализ систем мониторинга и тенденций развития NGN	6
1.1 Анализ системы мониторинга NGN.....	6
1.1.1 Функциональная архитектура сети NGN.....	6
1.1.2 Функциональная архитектура платформы IMS.....	10
1.1.3 Система мониторинга ОКС №7.....	13
1.1.4 Параметры мониторинга для сети сигнализации SIP	17
1.1.5 Система мониторинга IP сетей	19
1.2 Анализ тенденций развития сетей подвижной связи в NGN.....	23
1.2.1 Анализ способов организации подвижной связи.....	23
1.2.2 Эволюция сетей стандарта GSM в стандарт UMTS.....	27
1.2.3 Развитие сетей подвижной связи при внедрении NGN.....	30
1.2.4 Анализ тенденций развития конвергентных сетей связи.....	32
1.3 Методы описания сетей подвижной связи и постановка задачи.....	36
2 Математическая модель предоставления услуг в сетях подвижной связи...	39
2.1 Определение совокупности вероятностных характеристик и параметров	39
2.1.1 Анализ требований к качеству связи при обслуживании различных приложений.....	40
2.1.2 Определение совокупности параметров и характеристик теории телетрафика.....	44
2.2 Обоснование требований к групповому качеству обслуживания абонентов поколения 3G.....	48
2.3 Разработка математической модели функционирования	

радиоинтерфейса базовой станции.....	50
3 Исследование влияния группового характера обслуживания вызовов на характеристики обслуживания радиоинтерфейсом базовой станции.....	58
3.1 Результаты расчета и оценка влияния группового характера обслуживания вызовов радиоинтерфейсом базовой станции.....	58
Заключение.....	63
Список литературы.....	64
Приложение.....	66

Аңдатпа

Берілген магистрлік диссертацияда келесі ұрпақ желілеріне, қызмет көрсету сапасы параметрлеріне талдау жасалынды, сонымен қатар, NGN-нің басқа да ерекшеліктері қарастырылды.

Зертеу жұмысының негізгі объектісі ретінде жылжымалы байланыс желілерінің базалық станциясының радиointерфейсі алынды. Базалық станцияның радиointерфейсімен байланыс қызметін көрсету математикалық моделі құрастырылды.

Аталған математикалық модель негізінде Borland Pascal 7.0 тілін пайдалана отырып, трафиктің біріккен арналарын қолданудың теңдеулер жүйесін шешу мақсатында бағдарлама жасалынды және сол бойынша есептеулер жүргізілді.

Аннотация

В данной магистерской диссертации был проведен анализ сетей следующего поколения, анализ параметров качества обслуживания; рассмотрены такие особенности NGN, как эволюционность сетей.

Основным объектом исследования стал радиointерфейс базовой станции сетей подвижной связи. Была разработана математическая модель предоставления услуг связи радиointерфейсом базовой станции.

Также была разработана программа, основанная на данной математической модели, для решения системы уравнений с использованием языка Borland Pascal 7.0 для случая использования объединенных каналов трафика, и проведены расчеты по ней.

Введение

Концепция сетей связи следующего поколения (NGN) является основной концепцией развития сетей связи общего пользования в настоящее время. За основу построения NGN взяты пакетной сети, что принципиально позволяет предоставить пользователю подобной сетивсевозможныеуслуги по передаче речи, данных, а так же других мультимедийных услуг. Такие возможности NGN, конечно же, приводят к существенной модернизации сетей и технических средств ее составляющих по сравнению с существующими сетями. Изменяются структура сети, технические характеристики, сигнализация, т.е. все присущие сети элементы. На протяжении довольно длительного времени сосуществовали аналоговые и цифровые сети, можно вспомнить при этомналоженные сети, как принципы построения сетей. Таким же образом длительное время будут сосуществовать сети следующего поколения и цифровые сети и нередко аналоговые. Неслучайно, при формировании пакетных сетей связи общего пользования появилась и идея о преобразовании существующих аналоговых сетей связи в пакетные сети, минуя этап цифровых систем коммутации. Одним из успешных решений, реализующих переход в пакеты, является подсистема IP Multimedia Subsystem (IMS) – подсистема мультимедийных услуг для пользователей IP-сети. Решения, предлагаемые IMS, известны многим на сегодня, вместе с тем не являются ни концепцией, ни каким-либо стратегическим планом развитияNGN. IMS – это своего рода составляющее NGN и один из технологически продуманных вариантов осуществления данных сетей.

В последнее время общепризнанным является тот факт, что особое внимание для обеспечения эффективного внедрения и эксплуатации оборудования, а также услуг связи необходимо серьезно отнестись к тестированию и мониторингу. Проблемы обеспечения глобальной совместимости, как технической части, так и услуг, классов и параметров QoS образовали задачи тестирования и мониторинга в NGN.

Задача определения показателей качества обслуживания в мониторинге современных сетей мобильной связи является актуальной. В качестве основных объектов исследования в цифровых сетей связи могут быть рассмотрены радиointерфейсы базовых станций и различные сетевые элементы, пропускная способность которых оказывает влияние на качество обслуживания вызовов. Поток информации в радиointерфейсе базовой станции передается с высокой скоростью и формируется в соответствии с техническими характеристиками и возможностями конкретного цифрового стандарта мобильной связи.В основу проведенных исследований положены методы теории телетрафика и программирования.

1 Анализ систем мониторинга и тенденций развития NGN

1.1 Анализ системы мониторинга NGN

1.1.1 Функциональная архитектура сети NGN

В основе построения NGN лежит создание пакетной сети, что принципиально позволяет предоставить пользователю NGN любые услуги по передаче речи, данных и видео. Такие возможности NGN, естественно, приводят к существенному усложнению сети и технических средств ее составляющих по сравнению с существующими сетями. Изменяются архитектура сети, сигнализация, техническое обслуживание, т.е. все присущие сети атрибуты. Изменяется при этом и подход к построению системы мониторинга сети, что является предметом исследований и разработки настоящей главы.

Вместе с тем, сети как элементу конструкции общественного развития изначально присуще свойство эволюционное. Действительно, на протяжении достаточно длительного времени сосуществовали аналоговые и цифровые сети, можно вспомнить при этом такие принципы построения сетей как наложенные сети. Точно также на протяжении достаточно длительного времени будут сосуществовать NGN и цифровые сети, а иногда и аналоговые. Не случайно, при создании пакетных сетей связи общего пользования появилась и идея о преобразовании аналоговых сетей в пакетные, минуя стадию внедрения цифровых систем коммутации [1].

Разработка принципов построения архитектуры системы мониторинга NGN [2, 22] является одной из важнейших задач при решении проблем глобальной совместимости. Проблемы глобальной совместимости, впервые возникшие при широком внедрении NGN, включают в себя совместимость, как технических средств, так и услуг, а также классов и параметров качества обслуживания. В соответствии с рекомендациями МСЭ-Т проблемы глобальной совместимости решаются путем тестирования на модельных сетях и системой мониторинга в процессе эксплуатации.

Все это также должно быть учтено при разработке принципов построения системы мониторинга для NGN, но прежде всего, начнем с анализа функциональной архитектуры NGN, чтобы уяснить сложность задач мониторинга и функционально декомпозировать их при разработке архитектуры системы мониторинга NGN.

Функциональная архитектура NGN изображена на рисунке 1.1 и включает в себя два основных уровня: уровень передачи (transport stratum) и уровень услуг (service stratum) [1, 5]. При этом, на рисунке 1.1 функции, относящиеся к уровню передачи, отмечены как T, а к уровню услуги - как S. Помимо собственно уровней передачи и услуг в функциональную архитектуру NGN

входят также элементы, создающие окружение NGN, а именно: иные сети, в том числе существующие ТфОП/ЦСИО (PSTN/ISDN), Интернет, мультимедийные сети (other IP MM Network (IMS)), а также другие сети NGN. Наличие ТфОП/ЦСИО и Интернет подчеркивает эволюционный характер развития сети, а мультимедийные сети в форме IMS характеризуют дальнейшее развитие концепции NGN, они будут подробно рассмотрены в разделе 2.

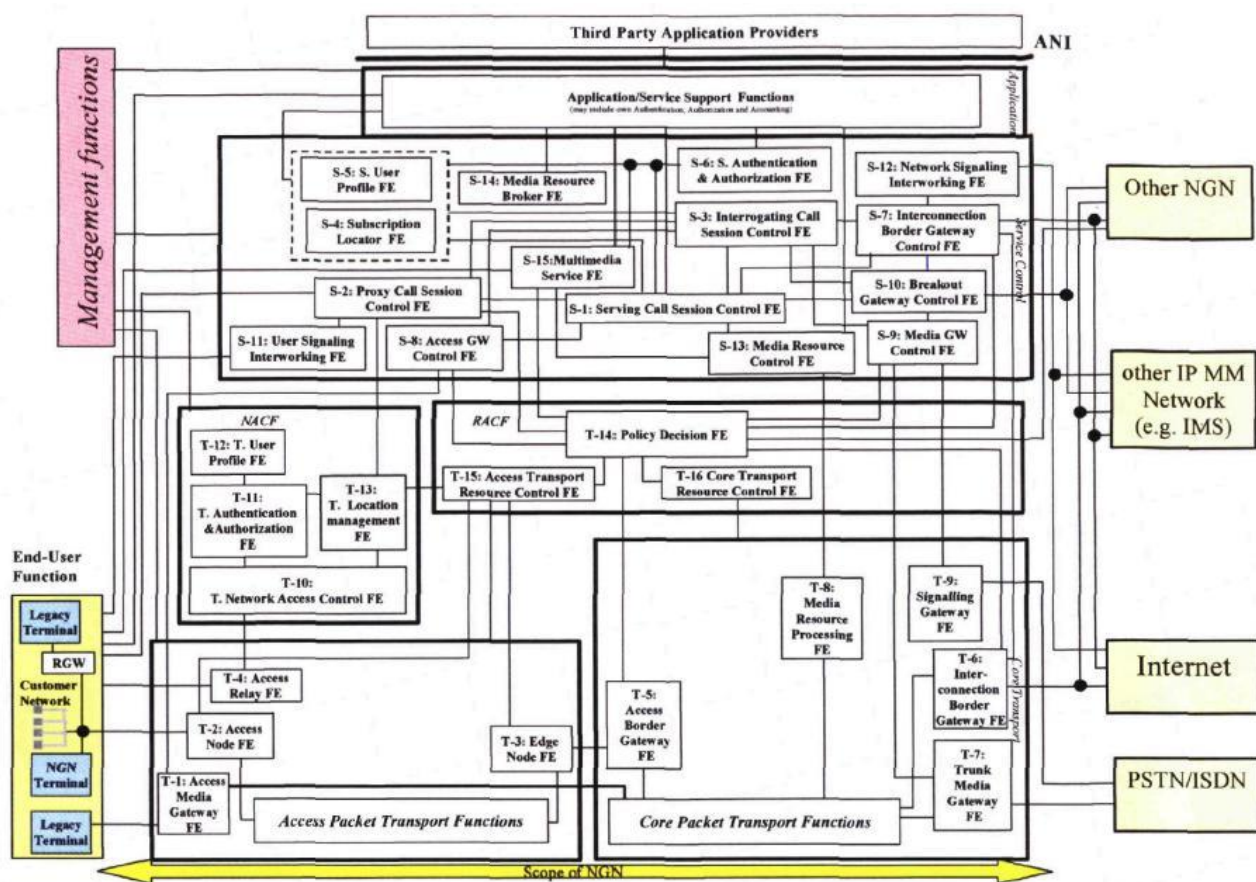


Рисунок 1.1 – Функциональная архитектура сети NGN

Кроме того, в функциональную архитектуру NGN включены, как и для любой сети, функции управления сетью (management functions) и функции оконечного пользователя. Заметим, что для оконечного пользователя рассматриваются как терминалы NGN (NGN terminal), пользовательские сети (Customer Network), так и существующие терминалы (Legacy Terminal) как непосредственно подключаемые к сети NGN, так и через подключаемые абонентские шлюзы (RGW - Residential Gateway).

Уровень передачи включает в себя несколько подуровней, отличающихся по своему функциональному назначению: подуровень функций доступа (Access Packet Transport Function), подуровень ядра сети (Core Packet Transport Function) подуровень доступа в сеть (NASF - Network Access Control Function) и подуровень доступа к ресурсам (RACF - Resource Access Control Function).

Подуровень функций доступа состоит из следующих функциональных блоков (FE - Functional Entity):

T-1: Шлюз передачи на доступе (Access Media Gateway),

T-2: Узел доступа (Access Node),

T-3: Пограничный шлюз (Edge Node),

T-4: Коммутатор доступа (Access Relay).

Подуровень функций ядра сети включает в себя следующие FE:

T-5: Пограничный шлюз доступа (Access Border Gateway),

T-6: Пограничный шлюз взаимодействия с иными IP сетями (Interconnection Border Gateway),

T-7: Шлюз взаимодействия с ТфОП/ЦСИО (Trunk Media Gateway),

T-8: Функциональный блок ресурсов (Media Resource Processing),

T-9: Сигнальный шлюз (Signalling Gateway),

Подуровень доступа в сеть состоит из следующих FE:

T-10: Управление доступом в сеть (Network Access Control),

T-11: Аутентификация и авторизация (Authentication and Authorization),

T-12: Профиль пользователя (User Profile),

T-13: Управление местонахождением (Location Management).

Подуровень доступа к ресурсам включает в себя:

T-14: Решения по политике использования ресурсов (Policy Decision),

T-15: Управление ресурсами доступа (Access Transport Resource Control),

T-16: Управление ресурсами ядра сети (Core Transport Resource Control).

Уровень услуг включает в себя два подуровня: управления услугами (Service Control) и приложений (Application).

Кроме того, уровень приложений может быть реализован и некими иными провайдерами, третьей стороной (Third Party Application providers).

Уровень управления услугами включает в себя:

S-1: Управление обслуживанием вызовов (Serving Call Session Control),

S-2: Управление обслуживанием вызовов прокси-серверами (Proxy Call Session Control),

S-3: Управление опросом вызовов (Interrogating Call Session Control),

S-4: Описание местонахождения (Subscription Locator),

S-5: Профиль пользователя (User Profile),

S-6: Аутентификация и авторизация (Authentication and Authorization),

S-7: Управление пограничным шлюзом для связи с другими IP сетями ((Interconnection Border Gateway Control),

S-8: Управление шлюзом доступа (Access Gateway Control),

S-9: Управление шлюзами передачи и сигнализации (Media Gateway Control),

S-10: Управление шлюзам для связи с мультимедийными сетями (Breakout Gateway Control),

S-11: Взаимодействие сигнализации пользователей (User Signalling Interworking),

S-12: Взаимодействие сетевой сигнализации (Network Signalling Interworking),

S-13: Управление медиа ресурсами (Media Resource Control),

S-14: Брокер медиа ресурсов (Media Resource Broker),

S-15: Услуги мультимедиа (Multimedia Service).

Уровень приложений в настоящее время состоит из одной функции поддержки приложений/услуг и пока достаточно не проработан.

Анализ функциональной архитектуры NGN дает возможность установить следующее.

Функциональная архитектура NGN содержит все признаки эволюционности, позволяющие говорить о необходимости наличия в составе системы мониторинга NGN таких подсистем, как ОКС№7 [3]. Кроме того, детализация функциональной архитектуры NGN показывает, что ряд взаимосвязей между элементами скорее всего реализуется на практике в рамках технических средств одной и той же фирмы (например, взаимосвязи T15 -T3, T15 - T1, S2 - T14 и т.д.).

Последнее должно привести в систему мониторинга NGN возможность использования для конкретных целей решений производителей по мониторингу, естественно, интегрированных в общую систему мониторинга NGN. До настоящего времени система мониторинга ОКС №7 в цифровых сетях строилась только на основе использования датчиков, являющихся внешними техническими средствами по отношению к сетевым элементам и инвариантными по отношению к их производителю.

В тоже время, на данном этапе развития и стандартизации NGN целесообразно ограничить систему мониторинга мониторингом технических средств, т.к. услуги NGN в настоящее время еще не специфицированы и даже окончательно не решены вопросы по сценариям их представления.

Далее перейдем к анализу функциональной архитектуры IMS [3, 8] как перспективного варианта реализации концепции NGN.

1.1.2 Функциональная архитектура платформы IMS

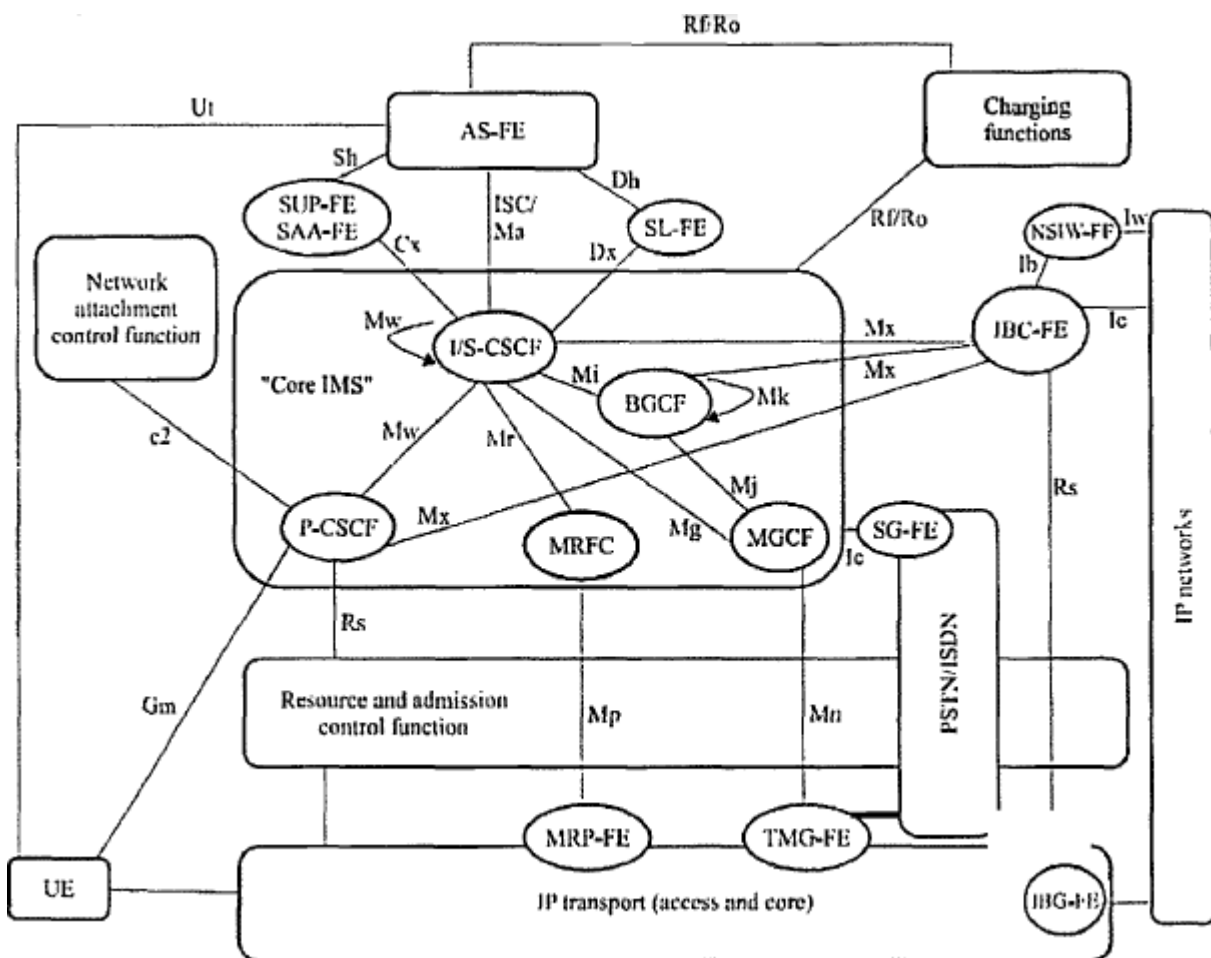


Рисунок 1.2 – Функциональная архитектура IMS

Одним из решений, реализующих пакетизацию услуг, является так называемая IP Multimedia Subsystem (IMS) – подсистема мультимедийных услуг для IP пользователей. На наш взгляд, именно такой перевод определяет суть IMS, предназначенной в соответствии с рекомендацией МСЭ-T Y.2021 для обеспечения услуг, базирующихся на SIP протоколе. Решения IMS, достаточно популярные в последнее время [24], вместе с тем не являются ни концепцией, ни каким-либо стратегическим вариантом развития сети. IMS - это часть NGN и один из технологических вариантов реализации концепции NGN.

Следует заметить, что в определенной степени продвижение подсистемы IMS обусловлено маркетинговыми усилиями ведущих фирм производителей.

Рассмотрим основные функциональные характеристики IMS на основе рекомендации МСЭ-Т. На рисунке 1.2 приведена функциональная архитектура подсистемы IMS во взаимосвязи с возможным сетевым окружением. Ядро IMS на рисунке 1.2 заштриховано и включает в себя следующие функции и внутренние интерфейсы.

Функция управления сеансами для вызовов (CSCF - Call Session Control Function) естественна для любой системы или подсистемы, осуществляющей коммутационные функции, и обеспечивает установление, мониторинг, поддержание и освобождение мультимедийных сеансов, а также управляет при этом взаимодействием пользователей. Функция CSCF подразделяется на три группы функций.

Функция проху CSCF (P - CSCF) - прокси CSCF - появляется в IMS как следствие прокси ориентированности протокола SIP. Действительно, при использовании протокола SIP прокси-серверы являются основными элементами сети сигнализации, через которые последовательно устанавливаются SIP-сеансы.

Функция serving CSCF (S - CSCF) - CSCF услуг - обеспечивает поддержание ядром IMS различных предоставляемых в IMS услуг от базовых до любых дополнительных.

Функция interrogating CSCF (I - CSCF) - CSCF опроса - обеспечивает идентификацию запрашиваемых пользователем услуг и взаимодействие с функциями уровня приложений.

Следующая функция ядра IMS - MGCF (Media Gateway Control Function) - функция управления шлюзами. В концепции NGN MGC всегда занимает центральное место и достаточно часто как в нашей, так и в зарубежной литературе по-прежнему называется программным коммутатором (Softswitch). МСЭ-Т избегает этого названия, в том числе и потому, что в своих рекомендациях оперирует, в основном, функциональными характеристиками.

Функция MRFC (Multimedia Resource Function Controller) - управление мультимедийными ресурсами - обеспечивает управление ресурсами транспортной сети, как на уровне ядра сети, так и на уровне сетей доступа.

И, наконец, последняя из функций ядра IMS, - функция BGCF (Breakout Gateway Control Function) - функция управления шлюзами маршрутизации вызовов при взаимодействии с ТфОП.

Важнейшее место в идеологии МСЭ-Т по функциональному построению сетей NGN играют функции NACF (Network Attachment Control Function) и RACF (Resource and Admission Control Function). Функция NACF — управление сетевыми соединениями (сеансами) - связана непосредственно с функцией прокси, что обеспечивает как совместимость IMS с общей функциональной концепцией NGN, так и информирует прокси о местоположении (фактическом) оборудования пользователя. Функция RACF - управление ресурсами и доступом в сеть - обеспечивает принятый в IP сетях принцип справедливого распределения ресурсов и поддерживает качество обслуживания путем

регулирования допуска нагрузки в сеть. Взаимодействие функции прокси с NACF осуществляется по интерфейсу e2, а с RACF - по интерфейсу Rs. Все эти интерфейсы (reference points) однозначно определяются в соответствующих рекомендациях МСЭ-Т.

Функции MGCF и MRFC взаимодействуют соответственно со шлюзами передачи информации (TMG - FE - Tranking Media Gateway Functional Entity) и процессором ресурсов мультимедийных сеансов (MRP - FE - Miltimedia Resource Functional Entity) через интерфейсы Mp и Mr, минуя функцию RACF. TMG-FE, а также сигнальный шлюз (SG-FE, Signalling Gateway Functional Entity) обеспечивают и взаимодействие MGCF с ТфОП. При этом, интерфейс Ie подразумевает взаимодействие с ТфОП с использованием протокола SIGTRAN для прозрачной передачи сигнализации ОКС №7 [6].

Сетевые элементы IBC-FE (Interconnection Border Gateway Functional Entity) обеспечивают взаимодействие IMS с другими сетями IP, в том числе и с другими IMS. IBC-FE представляет собой элемент сети, управляющий пограничными шлюзами, а IBG-FE является собственно пограничным шлюзом. Взаимодействие IMS осуществляется через интерфейс Mx, с другими IP сетями через интерфейс Ie, а между шлюзом и его контроллером посредством интерфейса Rs. При необходимости взаимодействия с иными протоколами сигнализации, чем SIP, - например, H.323, используется сетевой элемент NSIW-FE (Nerwork Signalling Interworking Functional Entity), т.е. конвертор сигнализации и интерфейс Iw с IP сетью и в Ib с контроллером пограничных шлюзов. Пользовательское оборудование UE (User Equipment) на рисунке 1.2 имеет взаимосвязь с функцией прокси через интерфейс Gm и с сервером приложений (AS-FE - Application Server Functional Entity) через интерфейс Ut.

Сервер приложений AS-FE связан с ядром IMS (с функциями I/S - CSCF) как непосредственно через интерфейс ISC/Ma (ISC - IMS Service Control, управление услугой), так и посредством элементов SUP-FE (Service User Profile Functional Entity), SAA-FE (Service Authentication and Authorization Functional Entity), SL-FE (Subscription Locator Functional Entity).

Элемент SUP-FE обеспечивает идентификацию профиля абонента в соответствии с его возможностями по доступу к тем или иным услугам. SUP-FE взаимодействует с ядром IMS по интерфейсу Sh.

Элемент SAA-FE обеспечивает процедуры аутентификации и авторизации пользователя, взаимодействуя с ядром IMS и сервером приложений через те же интерфейсы, что и SUP-FE.

Элемент SL-FE обеспечивает SUP-FE информацией о содержании соглашения о качестве обслуживания SLA между пользователем и сетью. Интерфейсы Dx и Dh используются для взаимодействия с ядром IMS и сервером приложений соответственно.

Функции учета и расчета (Charging function) используют информацию как ядра IMS, так и серверов приложений.

Итак, платформа IMS, если проанализировать ее функциональную

архитектуру, независимо от вида сети (мобильная или стационарная), сети доступа (проводная или беспроводная широкополосная) и т.д., позволяет реализовать одну из важнейших задач сегодняшнего этапа развития NGN - пакетизацию услуг. Таким образом, анализ функциональной архитектуры IMS как перспективного варианта реализации концепции NGN подтверждает выводы пункта 1.1.1 об эволюционном характере и особенностях построения системы мониторинга NGN.

1.1.3 Система мониторинга ОКС №7

Поскольку развитие сети происходит эволюционно и в рамках системы мониторинга NGN необходимо иметь, в том числе и подсистему мониторинга ОКС №7, рассмотрим далее существующую архитектуру системы мониторинга ОКС №7 и некоторые полезные ее характеристики [3, 6].

На рисунке 1.3 изображена архитектура системы мониторинга ОКС №7, имеющая радиальную структуру. В системе мониторинга ОКС №7 выделяются центральная часть, локальные серверы и пробники.

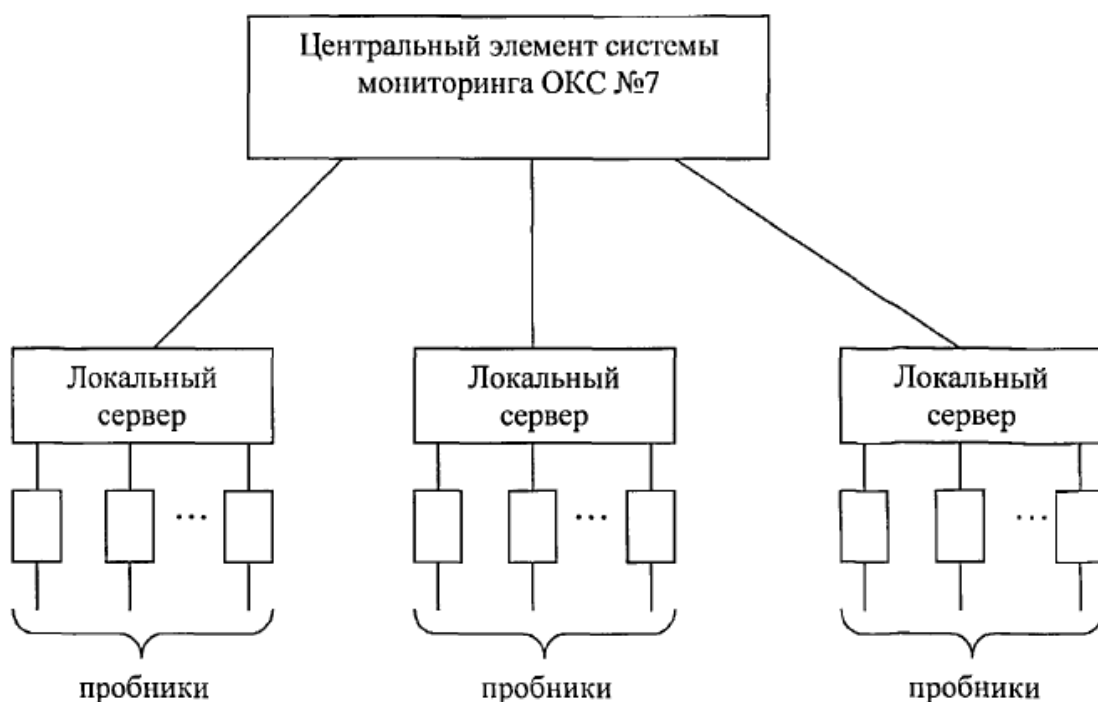


Рисунок 1.3 – Система мониторинга ОКС №7

Пробники являются высокоомными устройствами, подключаемыми

параллельно к каналам сигнализации ОКС №7. Локальный сервер располагается на объекте (АТС) или может быть централизован для ряда объектов (например, в одном здании) и осуществляет предварительную обработку и сжатие информации. Центральный элемент системы мониторинга ОКС №7 обрабатывает полученную информацию на основе ряда рекомендаций МСЭ-Т.

В соответствии с рекомендацией 0.752 определяются показатели качества функционирования сети сигнализации ОКС №7, а в соответствии с рекомендациями E.422 и E.425 - показатели обслуживания нагрузки.

В качестве примера анализа качества функционирования сети ОКС №7 приведем параметры, используемые в системе «САТЕЛЛИТ».

По каждому сигнальному звену должна быть предусмотрена возможность определения следующих показателей:

- количество входящих, исходящих и всего октетов значащих сигнальных единиц в период наибольшей нагрузки;
- количество входящих, исходящих и всего значащих сигнальных единиц в период наибольшей нагрузки;
- количество входящих, исходящих и всего сигнальных единиц, переданных с ошибкой в период наибольшей нагрузки;
- количество входящих, исходящих и всего повторно переданных сигнальных единиц в период наибольшей нагрузки;
- входящая, исходящая и общая сигнальная нагрузка в период наибольшей нагрузки;
- количество единиц FISU, переданных по звену в период наибольшей нагрузки;
- количество единиц LSSU, переданных по звену в период наибольшей нагрузки;
- количество сигнальных единиц подсистемы MTP, переданных по звену в период наибольшей нагрузки;
- количество сигнальных единиц подсистемы ISUP, переданных по звену в период наибольшей нагрузки. Рассчитывается в количестве сигнальных единиц и в проценте от общего количества;
- количество сигнальных единиц подсистемы SCCP, переданных по звену в период наибольшей нагрузки. Рассчитывается в количестве сигнальных единиц и в проценте от общего количества;
- количество сигнальных единиц подсистемы TUP, переданных по звену в период наибольшей нагрузки. Рассчитывается в количестве сигнальных единиц и в проценте от общего количества;
- количество отказов звена сигнализации за сутки;
- время недоступности звена сигнализации за сутки;
- коэффициент готовности звена сигнализации.

В части анализа использования сигнальных маршрутов ОКС №7 по каждому сигнальному звену должна существовать возможность определения объемов сигнального трафика по следующим подсистемам:

- MTP класс управление (SI = 0000);

- МТР класс тестирование (SI = 0001);
- трафик SCCP(SI = 0011);
- трафик ISUP (SI = 0101);
- трафик TUP (SI = 0100).

Объём трафика может быть представлен в виде:

- количества сигнальных единиц;
- количества октетов значащих сигнальных единиц;
- процент от общего количества сигнальных единиц;
- процент от общего количества октетов значащих сигнальных единиц.

Подсистема мониторинга ОКС №7 должна обеспечивать анализ протоколов на любом участке/участках сигнальной сети оператора. Используя данный инструмент можно проследить прохождение конкретного вызова по всей сети, контролируемой системой мониторинга.

Анализатор протоколов включает в себя функции декодировщика сигнальных единиц и функции трассировки вызовов.

Декодировщик должен проводить анализ сигнальных сообщений одновременно по 8 сигнальным звеньям, устанавливать фильтрацию сообщений по любому уровню вложенности подсистем, производить декодирование, как в сокращённом, так и в детальном виде.

При этом осуществляется декодирование следующих протоколов: МТР2; МТР3; ISUP; ISUP-R; TUP; SCCP; TCAP; INAP; INAP-R; MAP.

Анализ качества в подсистеме мониторинга ОКС №7 должен быть реализован в соответствии с рекомендацией E.422 и предназначен для оперативного контроля качества между системами коммутации внутри своей сети, качества, предоставляемого взаимодействующим операторам, качества, которое обеспечивают взаимодействующие операторы для исходящих вызовов.

Анализ качества может быть произведён как по всему маршруту, так и по отдельным каналам в этом маршруте. Кроме того, в маршруте, включающем несколько направлений, например в маршруте к транзитному оператору, должна существовать возможность выборочного анализа качества отдельно взятого направления по кодам ABC.

Должен быть возможен также анализ качества в целом по узлу, в этом случае подсистема мониторинга автоматически определяет все маршруты, относящиеся к данному узлу независимо от содержания конфигурации.

Подсистема мониторинга ОКС №7 должна также поддерживать анализ качества по рекомендациям E.425, который производится аналогично E.422. При анализе формируются стандартные параметры ASR, ABR и NER, а также дополнительные параметры.

Кроме того, анализ качества обслуживания в подсистеме мониторинга ОКС №7 должен предусматривать обеспечение анализа качества по разговорным маршрутам. При этом обеспечивается возможность получения следующей информации.

Группа суточных показателей. Содержит данные, интервал измерения которых составляет одни сутки:

- количество вызовов. Общее количество вызовов по данному маршруту;
- количество состоявшихся вызовов. Общее количество состоявшихся вызовов по данному маршруту;
- время трафика в секундах. Суммарное время трафика по данному маршруту в секундах;
- время трафика в тарифоминутах. Суммарное время трафика по данному маршруту в секундах;
- время ЧНН для данного маршрута.

Группа показателей за период ЧНН. Содержит данные, интервал измерения которых составляет один час - соответствующий ЧНН:

- нагрузка. Рассчитывается в Эрлангах за период ЧНН;
- коэффициент концентрации нагрузки. Процент нагрузки в ЧНН от суточной нагрузки;
- КЗО. Коэффициент занятых с ответом (ASR);
- КЭС. Коэффициент эффективности сети (NER);
- количество вызовов в ЧНН;
- количество состоявшихся вызовов в ЧНН;
- использование СИС. Количество каналов маршрута, задействованное в ЧНН.

Группа показателей, связанных с потерями. Содержит данные, интервал измерения которых составляет один час - соответствующий ЧНН:

- количество несостоявшихся вызовов с причиной «Номер вызываемого абонента занят»;
- количество несостоявшихся вызовов с причиной «Нет ответа абонента»;
- количество несостоявшихся вызовов с причиной «Разъединение инициировано абонентом/сетью»;
- количество несостоявшихся вызовов с причиной «Ресурс недоступен»;
- количество несостоявшихся вызовов с причиной «Нет доступного разговорного канала»;
- количество несостоявшихся вызовов с причиной «Ошибка протокола»;
- количество несостоявшихся вызовов с причиной «Взаимодействие».

Кроме того, при анализе качества обслуживания предусматривается формирование информации для обслуживающего персонала по параметрам качества по всем разговорным направлениям, определяемым по кодам ABCab. Анализ производится внутри одного разговорного маршрута.

Информация для мониторинга указанных выше параметров содержится в записях о вызовах (CDR - Call Detailed Report) и в записях о транзакциях (TDR - Transaction Detailed Report)

Как видим, система мониторинга ОКС №7 предоставляет операторским компаниям достаточно большой объем информации, который может быть использован для решения разнообразных задач.

В системе мониторинга NGN для этих же целей используется подсистема мониторинга SIP - базового типа сигнализации для всех услуг NGN и IMS.

1.1.4 Параметры мониторинга для сети сигнализации SIP

Поскольку SIP [7, 8] является протоколом сигнализации и в соответствии со структурой системы мониторинга NGN подсистема мониторинга SIP будет отнесена к независимой от производителя, ей свойственны многие функции и характеристики подсистемы мониторинга ОКС№7.

Для выполнения различных функциональных возможностей в подсистеме мониторинга SIP формируется детальная запись информации IPDR (IP Detailed Report). Это сразу же дает возможность преемственного развития подсистемы мониторинга ОКС №7 до уровня подсистемы мониторинга SIP при эволюции цифровых сетей связи общего пользования в направлении пакетных.

Так же, как и в подсистеме мониторинга ОКС№7, детальные записи IPDR формируются на периферийном оборудовании подсистемы мониторинга SIP. При этом в качестве периферийного оборудования может выступать локальный сервер, зеркально отображающий информацию с Softswitch или IMS, передаваемую по направлениям связи.

Итак, в информационной основе подсистемы мониторинга SIP лежат записи IPDR, формируемые локальными серверами подсистемы.

Запись IPDR должна включать в себя:

- номер абонента А;
- IP адрес абонента А;
- номер порта UDP абонента А;
- номер абонента В;
- IP адрес абонента В;
- номер порта UDP абонента В;
- время начала сессии;
- время окончания разговора;
- время окончания сессии;
- информацию о переадресации;
- код завершения сессии с указанием ошибок в соответствии с номером причины.

Кроме того, локальному серверу должна быть доступна информация о методах запроса SIP (INVITE, ACK, OPTIONS, BYE, CANCEL, IV, REGISTER) и кодах отклика, как для оценки статистических характеристик, так и для дешифровки информации протокола SIP.

На основании собранной и доступной информации подсистема мониторинга протокола SIP должна выполнять следующие функции:

- контроль функционирования сети сигнализации SIP и анализ отказов в сети сигнализации SIP;
- измерение длительности разговоров и их учет с целью аудита взаиморасчетов на основании данных систем биллинга;
- определение и расчет нагрузки и ее составляющих в ЧНН, по направлениям и т.д.;

- анализ качества обслуживания абонентов;
- анализ протокола сигнализации SIP с дешифровкой и трассировкой вызовов;
- анализ случаев несанкционированного доступа, как со стороны пользователей, так и со стороны персонала;
- формирование профиля пользователей.

При контроле функционирования сети сигнализации SIP и анализе отказов по причине нештатного функционирования сети сигнализации SIP должна быть предусмотрена возможность определения следующих показателей для каждого локального сервера:

- количество переданных и принятых сообщений INVITE, ACK, OPTIONS, BYE, CANCEL и REGISTER в час наибольшей нагрузки (ЧНН) в целом и по направлениям связи;
- количество переданных и принятых откликов по группам 1xx, 2xx, 3xx, 4xx, 5xx, bxx в час наибольшей нагрузки в целом и по направлениям связи;
- количество переданных и принятых откликов по конкретным кодам, например, 100, 200 и т.д. для всех групп откликов в час наибольшей нагрузки в целом и по направлениям связи;
- значения причины отказов по каждой причине в течение суток в целом и по направлениям связи.

Измерение длительности разговоров и их учет для целей аудита взаиморасчетов на основании данных систем биллинга осуществляется так же, как и в подсистеме мониторинга ОКС №7.

Определение и расчет нагрузки и ее составляющих в ЧНН, по направлениям и т.д. и анализ качества обслуживания абонентов реализуются на основе рекомендаций МСЭ-Т E.422 и E.425 за исключением параметров SIC и количества каналов маршрута, задействованных в ЧНН. Кроме того, не учитываются причины несостоявшихся вызовов вида «Нет доступного разговорного канала» и «Ресурс недоступен».

Анализ протокола сигнализации SIP с дешифровкой и трассировкой вызовов производится в режиме реального времени для одного и более соединений. При этом, предусматривается возможность создания в отложенном времени маршрутных таблиц с историей прохождения вызовов и сигнальных сообщений.

В качестве исходных параметров при этом используются поля заголовков To: и From:, представления телефонных номеров в URI, индикаторы типа адреса (NoA), индикатор плана нумерации (NPI) и т.д., а также текущие запросы и отклики.

Анализ случаев несанкционированного доступа в целом осуществляется так же, как и в ОКС №7. При этом формируется статистическая база профилей пользователей. Дополнительно к профилю пользователя по речевому трафику с учетом возможностей SIP-терминалов может потребоваться и профиль пользователя по трафику передачи данных.

1.1.5 Система мониторинга IP сетей

В рекомендации Y.1541 и Y.1543 МСЭ-Т [5, 28] рассматриваются способы измерения различных параметров, в том числе для целей мониторинга межоператорского взаимодействия. Уже само название рекомендации подчеркивает ее достаточно современную направленность, а именно: измерение на IP-сетях для междоменного взаимодействия. Действительно, если рассматривать пакетные сети связи общего пользования, то терминология междоменного взаимодействия появляется вместе с механизмом обеспечения качества обслуживания «дифференцированные услуги» (DiffServ). Именно DiffServ является базой для реализации одного из важнейших концептуальных положений NGN - гарантированного уровня качества обслуживания.

В отношении измерений междоменных взаимодействий в Y.1543 рассматриваются измерения средней задержки и вариации задержки (в одну сторону для обоих параметров), коэффициента потерь пакетов и доступности пути. Следует сразу же отметить, что несмотря на достаточно современное содержание, рекомендация Y.1543 рассматривает именно IP-сети, а не NGN. Эволюционное развитие сетей связи общего пользования в направлении NGN подразумевает, естественно, одновременное сосуществование в сети и цифровых фрагментов, и пакетных, и даже аналоговых. Эволюционность развития предусматривает использование в таких смешанных сетях и существующих (как правило не так давно введенных в эксплуатацию) систем мониторинга ОКС №7 и их развитие с использованием положительного опыта для мониторинга смешанных сетей. Поэтому, использование Y.1543 вследствие отсутствия в ней эволюционных аспектов развития сети напрямую затруднено. Вместе с тем, имеющиеся в Y.1543 наработки и в том числе систематизация документов RFC в отношении мониторинга IP-сетей представляют определенный интерес и должны быть подвергнуты всестороннему анализу.

Для измерения указанных выше величин в Y.1543 предлагается использовать два метода: активные и пассивные измерения. Заметим, что приведенный выше состав параметров по своей сути (задержка, вариация задержки, потери) отвечает нормированным в Y. 1541 параметрам качества обслуживания с точки зрения организации необходимых измерений.

Активная система мониторинга IP-сетей в соответствии с Y.1543 строится на основе активных пробников (зондов), осуществляющих установление пробных (контрольных) соединений, например, из конца в конец или от одного технического средства IP до другого [14].

Такая система, как правило, основывается на UDP соединениях и должна быть использована для измерения, как задержки, так и потерь в обоих направлениях между двумя техническими средствами.

Пробные пакеты маркируются в соответствии с концепцией DiffServ, т.е. в заголовке пробного пакета так же, как и в реальном пакете данных

существует поле DSCP, которое обозначает класс качества обслуживания в системе DiffServ. Последовательность таких пакетов передается через периодические интервалы в псевдослучайном порядке. Естественно, и в исходящем техническом средстве, и во входящем техническом средстве каждый пакет идентифицируется временем отправления и временем поступления. Заметим, что с учетом изложенного на сетях связи должно быть обеспечено внедрение системы единого точного времени, что возможно выполнить, например, с использованием системы ГЛОНАСС.

Пробные пакеты должны, естественно, иметь возможность соответствующей маркировки и в сетях MPLS, достаточно широко распространенных в настоящее время.

Отметим, что использование пробных контрольных соединений, вызовов, последовательностей и т.д. является достаточно широко распространенным методом измерений с целью оценки качества на всех этапах развития сетей связи общего пользования. Однако внимательный анализ показывает, что методы создания искусственной нагрузки для измерений и мониторинга сетей имеют преимущественное использование на начальном периоде развития той или иной технологии развития сети, постоянно уступая методам измерения и мониторинга на основе реальной нагрузки.

Не упуская из виду предыдущий аналитический вывод, продолжим рассмотрения требований к активным измерениям на основе рекомендации Y.1543. Как уже отмечалось выше, измерения в Y.1543 строятся на основе модели DiffServ. Поэтому, каждый отдельный набор пробников может быть использован для различных классов QoS и соответствующим образом запрограммирован. В рекомендации Y.1543 в качестве примера приводятся размеры пробного пакета для различных классов QoS. Так, для класса 0 размер пробного пакета определяется в 20 октетов, а для класса 2 - в 256 октетов.

Период передачи пробных пакетов, как правило, ограничен 100 мс. При этом измерения в целом осуществляются в течение 5 минут, за которые и подсчитываются оценки задержки, вариации задержки и потерь.

Оценка числа проб исследований за 5-и минутный интервал составляет около 1000, что вполне достаточно, например, для оценки потерь в единицы процентов, но не может считаться достаточным для оценки коэффициента потерь, например, для классов 6 и 7 по рекомендации Y. 1541.

Для измерений параметров задержки, вариации задержки и потерь в рекомендации Y. 1543 рассматривается несколько моделей сети для измерений (как активных, так и пассивных), а именно: пограничный узел - пограничный узел, провайдер - провайдер и терминальное устройство - терминальное устройство. Рассмотрим модель сети для измерений «терминальное устройство - терминальное устройство» как наиболее общую, которая изображена на рисунке 1.4.

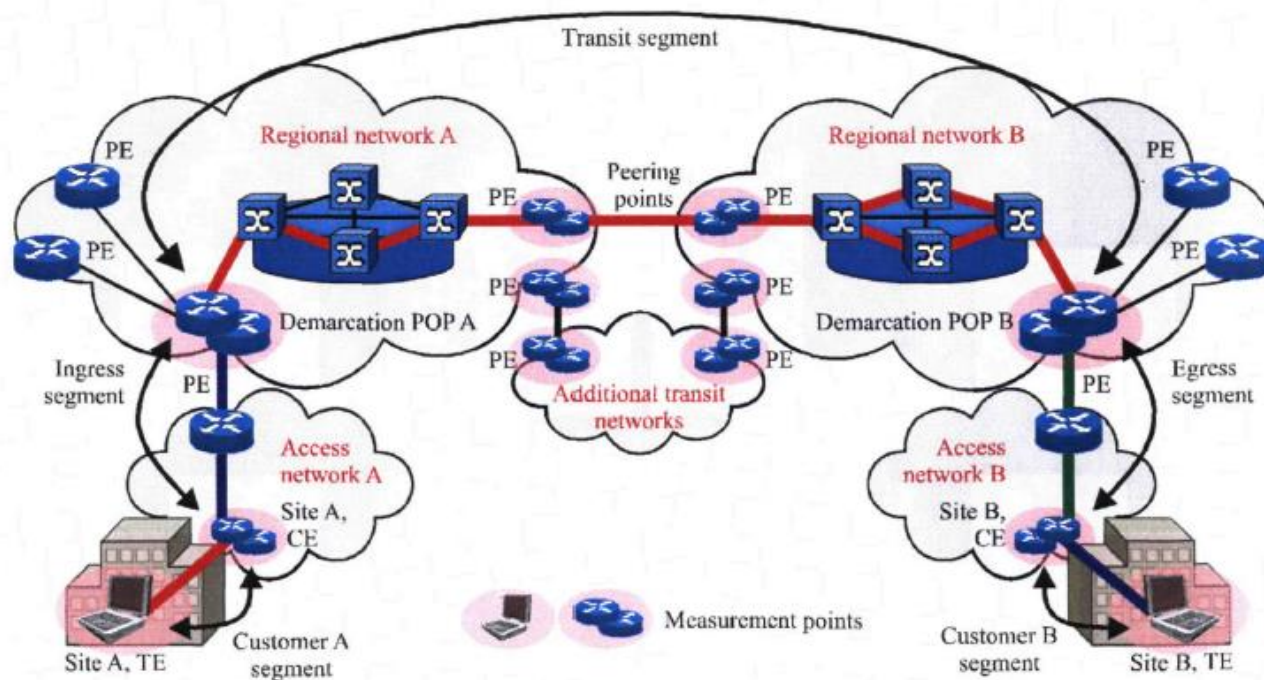


Рисунок 1.4 – Модель сети.

Модель на рисунке 1.4 включает в себя несколько региональных (Regional Network, в привычной терминологии - транзитных) сетей со своими сетями доступа (Access Network) и техническими средствами пользователя (TE - Terminal Equipment). Кроме того, с целью еще большего обобщения модели на рисунке 4 приведены также дополнительные транзитные сети (Additional transit networks), через которые может устанавливаться соединение от исходящего пользователя по входящему. Сеть сегментирована на транзитный участок (Transit segment), исходящий (Egress) и входящий (Ingress) сегменты, а также пользовательские сегменты (Customer A segment и Customer B segment), включающие в себя пользовательское оборудование CE (Customer Equipment) и терминальное оборудование TE. Понятие пограничной точки присутствия (Demarcation POP - Point of Presence) определяет границы транзитной сети и сети доступа. Провайдерские узлы (Provider Edge) образуют совместно сеть, по которой передаются реальные и пробные пакеты между пользователями А и В.

Как видим, модель действительно достаточно общая и пригодная для измерений как активных, так и пассивных. Но вместе с общностью иногда пропадает специфика. И в данном конкретном случае достаточно сложно представить как проводить измерения и мониторинг для мультикастингового трафика видеопотоков телевидения поверх IP (IPTV - IP Television).

Завершая подраздел по активным системам измерения (мониторинга) параметров качества обслуживания для IP трафика, еще раз отметим, что при всей полезности данного метода, особенно при измерениях из конца в конец, активные измерения не могут являться базой для систем мониторинга сетей

NGN по нескольким причинам и, в первую очередь, вследствие отсутствия гетерогенности как таковой, что очень важно для эволюционирующих сетей связи общего пользования. Кроме того, проблемы генерации трафика NGN, обладающего существенными свойствами самоподобия, могут оказаться излишне сложными при создании адекватных тестовых последовательностей для, например, услуги Triple Play при различных соотношениях трафика видео, речи и данных.

Анализ возможностей систем мониторинга IP на базе пассивных измерений проведем также на основе рекомендации У. 1543, в которой обобщены наработки IETF и других стандартизирующих организаций в этой области.

Наиболее информативной и практически хорошо себя зарекомендовавшей является система пассивных измерений на базе протоколов RTP/RTCP. Архитектура измерений IP сети на базе протоколов RTP/RTCP представлена на рисунке 1.5.

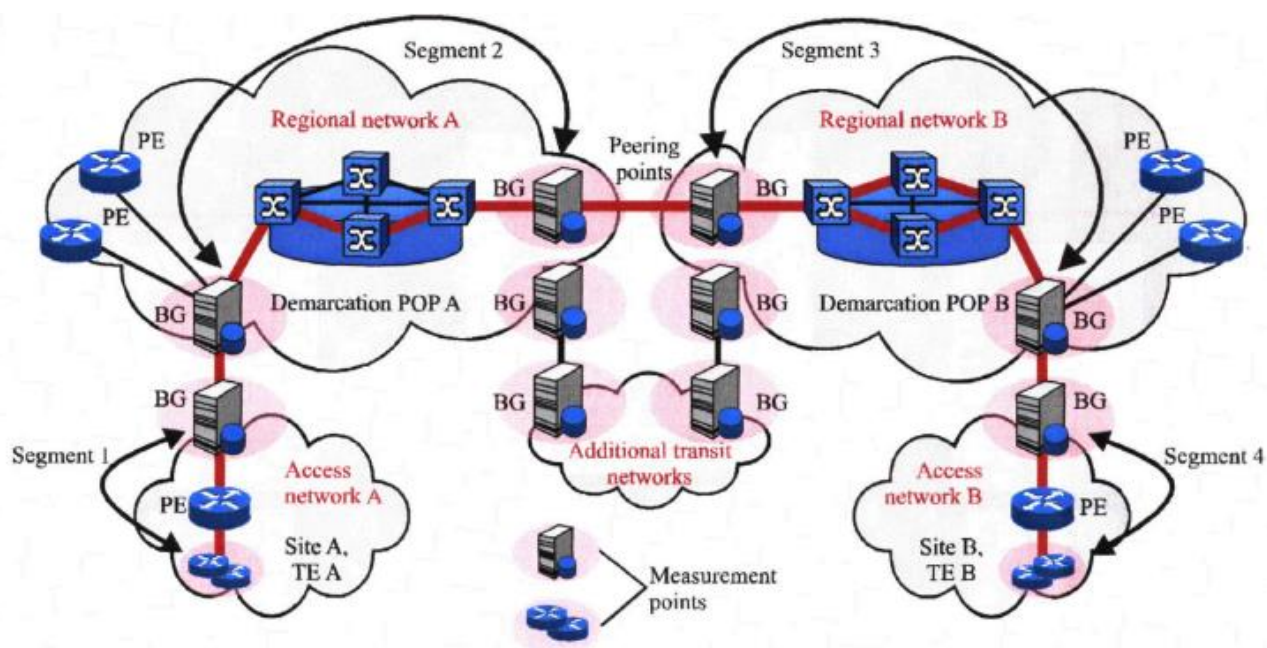


Рисунок 1.5 - Архитектура измерений IP сети на базе протоколов RTP/RTCP

Заметим, что само по себе построение системы измерений (мониторинга) на основе информации протоколов взаимодействия является классическим. Действительно, как было отмечено в пункте 1.1.3, именно протокол ОКС №7

является основой для создания систем мониторинга в цифровых сетях.

1.2 Анализ тенденций развития сетей подвижной связи в NGN

1.2.1 Анализ способов организации подвижной связи

Развитие телекоммуникационной отрасли в РК происходит опережающими темпами по сравнению с развитием промышленности в целом, причем наиболее интенсивно происходит развитие мобильной связи. Радиотелефонная связь позволяет работать в режиме "перемещение абонента", обеспечивая связью абонентов в городах, в сельско-пригородных зонах, в труднодоступных районах с малой плотностью населения.

В течение ряда лет количество абонентов подвижной (мобильной) связи в РК ежегодно увеличивалось примерно вдвое. В настоящее время сотовые сети подвижной связи развернуты фактически во всех субъектах РК (более 90% составляют абоненты сетей стандарта GSM) и продолжает стремительно увеличиваться. У крупнейших операторских компаний РК ("Kcell/Active", "Beeline" и "Tele2") общее число мобильных аппаратов уже превысило число стационарных телефонов. Ожидаемая предельная телефонная плотность мобильной связи для РК составляет более 150%, то есть при численности населения в 17 млн человек количество мобильных терминалов может достигнуть 25 млн.

Высокие темпы роста абонентской емкости сетей подвижной радиотелефонной связи общего пользования (СПРС-ОП) с преимущественным использованием оборудования стандарта GSM в мире определены следующими факторами: тенденцией к снижению тарифов на услуги; высокой устойчивостью сети; надежной концепцией безопасности; гибкими тарифами; удешевлением абонентских терминалов; расширением зон покрытия; упрощением использованием терминалами; расширением номенклатуры услуг; низкой телефонной плотностью стационарной телефонной сети общего пользования. Особенностью организации радиотелефонной связи в РК является одновременное использование систем мобильной связи различного технического уровня и возможностей [1, 3, 5, 14, 27].

Перечислим наиболее распространенные подходы к организации СПРС-ОП в РК.

1. Организация выделенных СПРС для оперативной связи между представителями государственной власти и для диспетчерской связи на железных дорогах, трубопроводах, с автомобилями скорой помощи, пожарной

службы, полиции, такси.

2. Реализация СПРС для профессиональной радиотелефонной связи, предоставляющие подвижным абонентам радиоканалы трафика на время разговора в полудуплексном или дуплексном режиме с правом выхода или без права выхода на телефонную сеть общего пользования.

3. Развертывание перспективных сотовых сетей подвижной связи общего пользования, предполагающие разбиение территории на соты (ячейки). Радиодиапазон разбивается на фрагменты, закрепляемые за сотами СПРС-ОП по определенной схеме с повторным использованием частот. В соседних сотах используются разные фрагменты радиодиапазона. Изменение размеров сот сети при регулировании мощности передатчиков, оптимизация распределения радиочастот позволяют увеличивать емкость СПРС-ОП без расширения границ выделенного радиодиапазона.

Как показано на рисунке 1.6 сотовая сеть подвижной связи строится в виде совокупности ячеек (сот), покрывающих обслуживаемую территорию. В центре каждой ячейки находится базовая станция (БС), обслуживающая все подвижные станции (ПС) в пределах своей ячейки. При перемещении абонента из одной соты в другую происходит передача его обслуживания от одной базовой станции к другой. Все базовые станции соединены с центром коммутации подвижной связи по выделенным проводным или радиорелейным каналам связи. Сотовые сети подвижной связи крупных городов и регионов обычно включают в себя несколько центров коммутации, которые имеют выход на телефонную сеть общего пользования (ТФОП).

При перемещении абонента между ячейками одной системы происходит эстафетная передача обслуживания с выделением радиоканалов, а при перемещении на территорию другого ЦКПС сети реализуется функция «роуминг». Если сеть граничит с другой сетью сотовой связи, то при перемещении абонента из одной сети в другую имеет место межсистемная передача обслуживания.

Дециметровые радиоволны, используемые в сотовых сетях связи, распространяются в основном в пределах прямой видимости; дифракция на этих частотах выражена слабо, а молекулярного поглощения и поглощения волн при снеге и дожде практически нет. Однако наличие преград (зданий) приводит к появлению отраженных сигналов, интерферирующих между собой и с сигналом прямого пути (многолучевое распространение). Отражение от земной поверхности приводит, к тому, что мощность принимаемого сигнала убывает пропорционально четвертой степени расстояния между передатчиком и приемником. Интерференция нескольких сигналов, прошедших различными путями, вызывает явление замирания результирующего сигнала, при котором интенсивность принимаемого сигнала изменяется в значительных пределах при перемещении подвижной станции. Кроме того, возникают искажения вследствие наложения нескольких соизмеримых по интенсивности сигналов, смещенных один относительно, другого во времени, которые могут приводить к ошибкам в принимаемой информации. Многолучевое распространение

существенно затрудняет расчет интенсивности сигналов в функции удаления от базовой станции, а такой расчет необходим для корректного проектирования сети связи.

К основным технологиям построения СПРС-ОП, позволяющим бороться с указанными недостатками относятся: множественный доступ с частотным разделением каналов (Frequency Division Multiple Access - FDMA); множественный доступ с кодовым разделением каналов (Code Division Multiple Access - CDMA); множественный доступ с временным разделением каналов (Time Division Multiple Access - TDMA).

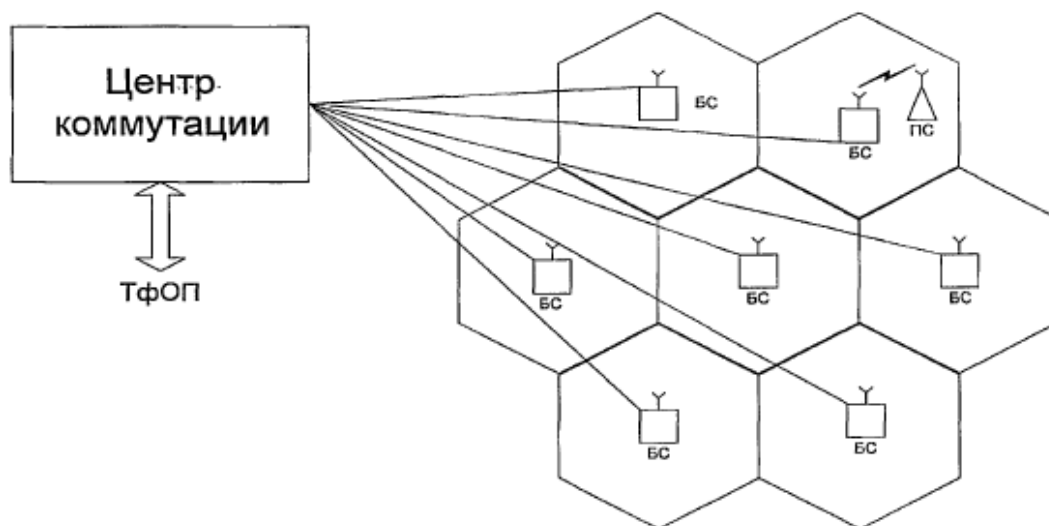


Рисунок 1.6 Структурная схема сотовой сети подвижной связи

Другая особенность сетей сотовой связи – это жесткое ограничение выделенных в радиодиапазоне полос частот, которые предоставляются оператору мобильной связи на правах продолжительной аренды. Отсюда следует задача наиболее эффективного использования имеющегося диапазона, оптимизации его использования и, следовательно, повышения емкости сети связи [21, 23, 27].

Различают несколько поколений развития оборудования для сотовых сетей связи (таблица 1.1). Сети мобильной связи РК соответствуют уровню развития 2G/2,5G, который обеспечивает пользователям предоставление услуг мобильной телефонной связи и ряда дополнительных услуг, связанных с передачей данных. В настоящее время в США, в Европе и в Японии разработаны и интенсивно внедряются цифровые системы четвертого поколения.

Т а б л и ц а 1.1 Сравнительные характеристики поколений мобильной связи

Поколения мобильной связи	2G	2,5G	3G	4G
Базовые услуги	Речь	Речь, данные	Речь, данные, видеоданные, мультимедиа	Речь, данные, мультимедиа, мобильное телерадиовещание
Скорость передачи, Кбит/с	9,6..14,41	115 (1 фаза) 384 (2 фаза)	115 (1 фаза) 1 10 ³ (1фаза)	(10...44) 10 ³
Тип коммутации	Коммутация каналов	Смешанная	Смешанная	Требования не определены
Базовые стандарты	GSM, TDMA	GPRS, EDGE, IS-136+	Стандарты серии IMT	Требования не определены

Проекты систем третьего поколения 3G базируются на двух конкурирующих технологиях: методах многостанционного доступа с временным TDMA и кодовым CDMA разделением каналов. Можно выделить три ключевых направления развития систем подвижной связи 3-го поколения: эволюция на базе технологии TDMA (новые версии стандартов GSM, IS-136, DECT); эволюция на базе технологии CDMA; проекты новых стандартов на базе широкополосной технологии W-CDMA [3, 8, 16].

Сети поколения 3G должны обеспечивать мобильную связь, глобальный роуминг, широкий набор возможностей мультимедиа, включая видеотелефон и видеоконференции, а также высокоскоростной доступ в Интернет для получения деловой, развлекательной и образовательной информации. Предполагается, что системы поколения 3G будут состоять из наземных и спутниковых сегментов, и должны поддерживать следующие скорости передачи информации: до 64 кбит/с без ограничений подвижности абонентов; до 384 кбит/с при ограниченной подвижности (скорость пешехода); до 2 Мбит/с в неподвижном обслуживании[12, 14, 27].

Перечислим предпосылки создания и перехода к сетям поколения 3G:

- освоение для подвижной связи нового диапазона частот в районе 2000 МГц;
- разработка новых эффективных протоколов, обеспечивающих интеграцию спутниковых и наземных систем подвижной связи;
- создание универсальных радио интерфейсов;
- обеспечение совместимости с действующими сетями 2-го поколения в процессе эволюционного перехода к 3-му поколению.

Главное отличие систем поколения 4G – это высокая скорость передачи информации, которая будет достигать 20 Мбит/с для исходящего трафика и 100 Мбит/с для входящего трафика.

Стратегия внедрения сетей 3G и 4G в РК должна учитывать ее геополитические особенности (обширность территории, неравномерную плотность населения), уровень социально-экономического развития и общее состояние телекоммуникационной отрасли. Возможным считается переход непосредственно к технологии 4G.

Положительный экономический эффект от перехода к оборудованию следующих поколений может быть получен только при внедрении спектра новых услуг, привлекательных для большого числа абонентов.

1.2.2 Эволюция сетей стандарта GSM в стандарт UMTS

Подавляющее большинство абонентов в сетях сотовой связи РК включено в системы стандарта GSM900 или GSM1800. По мнению ряда экспертов, эволюция сетей GSM к UMTS в РК будет выглядеть следующим образом.

Первоначально на всей территории РК будут развернуты сети GSM – данный этап можно считать близким к завершению. В процессе эксплуатации операторы мобильной связи столкнутся с тем, что абонентам, особенно бизнес-сегменту, потребуются услуги передачи данных, поэтому на следующем этапе в местах скопления бизнес-абонентов развертываются сети 2,5G с поддержкой передачи данных. Третий этап состоит в развертывании сетей третьего поколения в столице и больших городах, то есть в местах, где востребованность услуг третьего поколения будет наибольшей. Со временем сети UMTS будут охватывать все большую территорию, и, в конце концов, вся страна будет интегрирована в среду мобильных сетей третьего поколения [5, 8, 25, 27].

Завершение строительства сетей UMTS не означает окончание работы GSM и GPRS-систем. Все три сети будут еще долго сосуществовать, так как переход абонентов, из одного стандарта в другой будет осуществляться плавно. Производители оборудования предлагают законченные решения по строительству сетей 3G, однако рынок к развертыванию таких систем еще не везде подготовлен.

Строительство сети третьего поколения потребует от оператора мобильной связи очень больших капиталовложений и трудозатрат. И если в Европе и США строительство сетей 3G – это неотложное дело из-за очень высокого уровня конкуренции и повсеместного распространения сотовой связи, то РК пока отстает по уровню развития услуг связи. Строительство сети третьего поколения – это капиталоемкий процесс, однако знание эволюции

стандартов связи позволяет совместить инвестирование в развитие существующей инфраструктуры и развертывание 3G. Рассмотрим возможные действия оператора связи по развитию мобильной сети. Предполагается, что в распоряжении оператора имеется достаточно большая сеть GSM, которая растет и требует развития в направлении 3G сети.

Самым простым и дорогим путем развития будет строительство сети 3G параллельно и независимо от существующей сети. В этом случае помимо прямых инвестиций в новое оборудование оператору необходимо учитывать и затраты на расширение и оптимизацию GSM-сети. Дублирование функций технического персонала приведет к увеличению штата службы технической поддержки. Оператор будет вынужден увеличивать расходы на эксплуатацию и управление сетями, и обеспечить соединение двух независимых сетей с сетью ТФОП.

Вторым возможным путем, для оператора является расширение и оптимизация сети GSM с использованием, оборудования для сетей третьего поколения: В этом случае можно сказать, что оператор инвестирует свои средства в будущее, то есть оборудование UMTS используется как для обеспечения функционирования сети 3G, так и для улучшения работоспособности сети GSM. В противовес первому варианту развития оператор не только уменьшает прямые инвестиции в новое оборудование, но и существенно экономит на операционных расходах: отпадает необходимость дублирования соединительных линий; обучения дополнительного персонала; оператор продолжает эксплуатировать действующую сеть, а в будущем ему не придется закупать опорную сеть для услуг 3G. С точки зрения расширения и инвестиций второй путь развития более предпочтителен, однако в этом случае опорная сеть UMTS сети должна одинаково хорошо обеспечивать функционирование GSM, GPRS, UMTS. Такое требование выполнимо, если на опорной сети будут использованы коммутаторы нового поколения Soft Switch [5, 26].

На рисунке 1.7 представлен один из распространенных вариантов организации мобильной связи в региональных сегментах сети. Этот вариант предусматривает прохождение междугородного внутри регионального трафика через коммутатор, установленный в региональном центре.

Как показано на рисунке 1.8, физическое разделение платформ сигнализации и коммутации SoftSwitch позволяет устанавливать в каждом небольшом районном центре, городе платформу коммутации необходимой емкости, избегая подключения междугородного трафика. Использование такого варианта развития сети обеспечивает снижение расходов на аренду транспортной сети в несколько раз. Управление соединениями будет осуществляться в региональном центре, где сосредоточены основные ресурсы оператора. Имеется также возможность использования в качестве среды передачи IP-сети, что позволяет снизить расходы на междугородную связь.

Коммутационная платформа на базе Soft Switch может использоваться в действующих мобильных сетях как полноценный коммутатор третьего

поколения. Это позволяет использовать оборудование для работы в сетях GSM и GPRS и одновременно проводить исследование и тестирование функций третьего поколения. При переходе к системам третьего поколения необходимо наличие такого фактора, как привыкание абонента к новым услугам. Наличие на рынке терминалов третьего поколения с поддержкой одновременной работы в сетях GSM/GPRS/UMTS позволит операторам связи уже сегодня начать работу по обучению абонентов некоторым типам услуг третьего поколения. Применение коммутаторов Soft Switch на первом этапе построения систем третьего поколения в России признается оправданным не только с позиции обеспечения абонентов функциями следующего поколения, но и для текущей оптимизации сетей 2G и 2,5G. Провайдер услуг связи получает возможность начать эксплуатацию систем третьего поколения, обучить технический персонал, то есть приступить к внедрению 3G в своей компании.

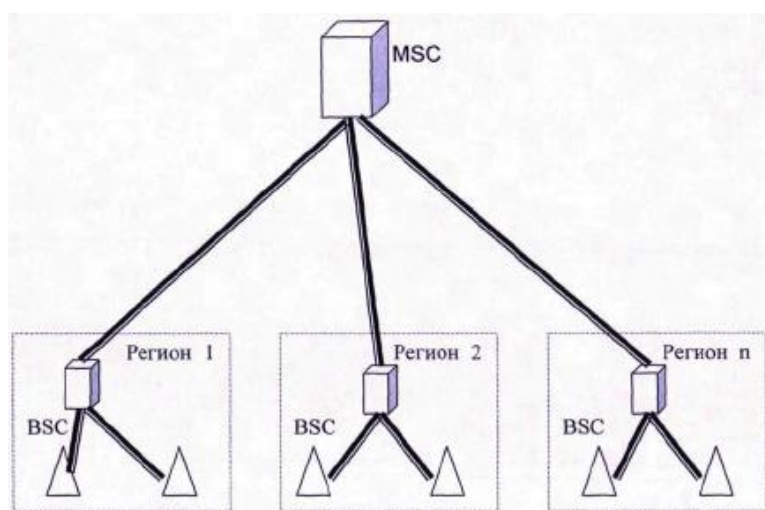


Рисунок 1.7 Схема организации связи в обычной сети

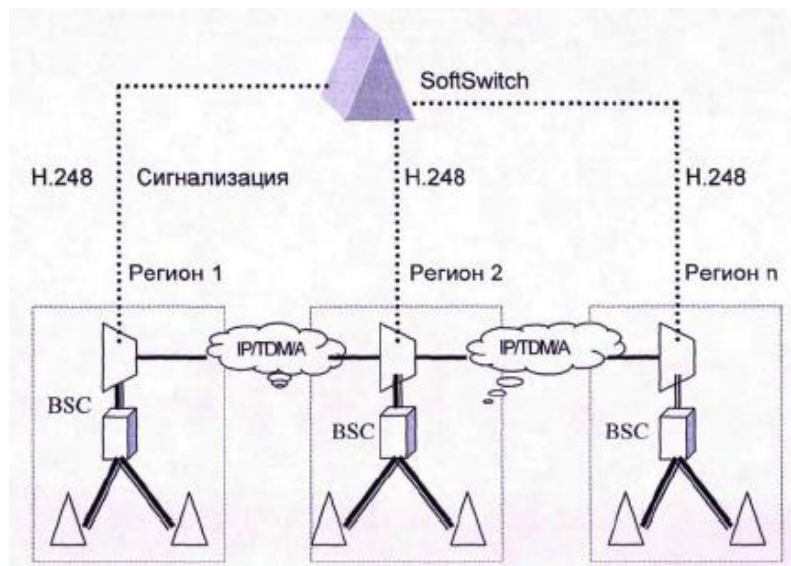


Рисунок 1.8 Схема организации связи в оптимизированной сети

1.2.3 Развитие сетей подвижной связи при внедрении NGN

Появление концепции сетей фиксированной связи нового поколения NGN и ее дальнейшее развитие отразилось в структуре сетей СПРС-ОП поколения 3G [1, 7, 18, 21, 27]. Предполагается, что модернизация сетей СПРС-ОП в направлении NGN будет происходить путем эволюционной согласованной замены различных элементов (на базе TDM-решений) на решения NGN в составе транспортной сети нового поколения, оборудования SoftSwitch, мультимедиашлюзов, мультисервисных абонентских платформ доступа, платформ приложений.

Для некоторых операторов может оказаться привлекательным одномоментный переход от первичных TDM-сетей к мультисервисной транспортной IP-сети. Оборудование синхронной, цифровой иерархии SDH либо вообще не будет использоваться, либо продолжится его эксплуатация совместно с коммутаторами ATM. Последнее означает, что мультисервисная сеть будет основана на принципе "ATM over SDH". Возможны также и другие решения. Например, новое поколение оборудования SDH содержит порт Ethernet, что позволяет использовать подход "Ethernet over SDH". Он считается привлекательным благодаря возможностям SDH по эффективному управлению транспортной сетью.

С системной точки зрения переход к IP-технологии, в сетях СПРС-ОП имеет ряд весьма специфических особенностей. Например, модернизацию сети в большинстве случаев необходимо начинать с построения базовой IP-сети (Core Network), поддерживающей все показатели QoS, определенные для пакетных технологий.

Построение NGN для мобильной связи имеет ряд особенностей. Уровень

транспорта имеет следующие подуровни: ядро (Backbone), агрегация (Edge). Последний подуровень предназначен для организации высокоскоростного транспорта между MGW и MSC Server, которые находятся на границе уровней агрегации и доступа. Уровень доступа реализуется на основе радиоподсистем базовых станций GSM или UMTS. Кроме того, транспортная сеть оператора СПРС-ОП имеет подуровень "Распределительная сеть" (backhaul), связывающий базовые станции с контроллерами и центрами коммутации MSC, Mobile Switching Center. При внедрении NGN в сети СПРС-ОП 2,5/3G следует учитывать особенности структуры радиоподсистемы и подсистемы коммутации.

При создании архитектуры сетей GPRS/EDGE (3GPP Rel. 99, 2,5G) были определены два домена: принципиально новый домен PS (Packet Switch, домен коммутации пакетов) и домен CS (Channel Switch, домен коммутации каналов). Последний обрабатывает трафик сигнализации и пользовательский трафик, обусловленные предоставлением услуг по коммутируемым каналам. Для версии 3GPP Rel 5 функциональность для доменов CS и PS выглядит несколько иначе, но с точки зрения разделения сигналов радиоподсистемы 2G/2,5G принципы обработки остаются неизменными. Объединение доменов CS и PS на базе ядра IP/MPLS представляется одним из основных преимуществ инфраструктуры на базе NGN. Такая реализация ядра транспортной сети позволит в будущем с минимальными инвестициями перейти к перспективной архитектуре IMS (IP Multimedia Subsystem), а в дальнейшем и к варианту all-IP [24, 26].

Отметим важную особенность транспортных структур NGN для СПРС-ОП поколения 3G. Если для сетей 2G/2,5G основу составлял транспорт TDM (подсистема back-haul), то для 3GPP (UMTS) Rel. 4 предполагается использование, в качестве транспорта технологии ATM, а для 3GPP (UMTS) Rel.5/6 предусмотрено использование технических решений на базе Ethernet/IP/MPLS. В перспективе транспортная сеть NGN будет трансформироваться в сторону решений на базе Ethernet и IP/MPLS, которые в скором времени могут начать вытеснять аппаратуру плезиохронной и синхронной цифровой иерархии.

Одним из базовых элементов новой NGN-архитектуры, определенной 3GPP Rel 5, стала архитектура IMS, которая предназначена для предоставления абонентам мультимедийных услуг на основе протокола IP. Можно предположить, что по мере развития услуг на базе IP роль IMS будет возрастать, в то время как значение доменов CS и PS начнет снижаться. По определению, предложенному 3GPP, IMS – это подсистема, в которой транспорт и услуги по переносу трафика отделены от сигнальной сети и функций управления сессией. Отметим, что применительно к IMS 3GPP стандартизирует не блоки подсистемы, а ее функции. Таким образом, архитектура IMS воспринимается как набор функций и стандартизованных интерфейсов. В IMS предусмотрено несколько функциональных уровней: User Plane (пользовательский), Control Plane (управления), Application Plane

(приложений). С переходом к архитектуре IMS резко возрастает роль качества предоставляемых услуг QoS и его контроля. Это особенно актуально для мультисервисных сетей, к которым все более приближаются СПРС-ОП. Первая редакция IMS (3GPP Rel 5) содержит ряд подсистем и протоколов, ориентированных на GPRS. В следующем варианте (3GPP Rel 6) разработчикам стандарта удалось отделить функции доступа от ядра сети, что позволяет говорить о создании службы доступа, названного IP Connectivity Access (доступ для транспортировки IP-трафика между подсистемами IMS и оборудованием абонентов) [24].

Основным протоколом для взаимодействия сетевых элементов в рамках концепции IMS был выбран протокол SIP (Session Initiation Protocol), благодаря своей простоте, гибкости и хорошей расширяемости. IMS поддерживает множество серверов приложений, предоставляющих как обычные телефонные услуги, так и новые сервисы (обмен мгновенными сообщениями, мгновенная многоточечная связь, передача видеопотоков, обмен мультимедийными сообщениями).

Сервисная архитектура IMS представляет собой набор логических функций, которые можно разделить на три уровня: уровень абонентских устройств и шлюзов, уровень управления сеансами и уровень приложений.

1.2.4 Анализ тенденций развития конвергентных сетей связи

Опыт развития зарубежных сетей связи показывает, что вслед за бурным развитием наступает период насыщения, поэтому для операторов связи важно расширять пакет предоставляемых услуг, реализовать новые технологические идеи, расширять функциональные возможности и нестандартное использование систем связи. В условиях уменьшения показателя среднего дохода с абонента (ARPU) важнейшими факторами успешной деятельности операторских компаний РК становятся внедрение новых технологий и расширение спектра услуг, привлекательных для широкого круга абонентов. Предполагается, что введение новых сервисных услуг будет не только приносить значительный доход, но и повышать престиж оператора на рынке. В этих условиях нужен правильный выбор технологических и маркетинговых решений, которые бы адекватно оценивались абонентами [1, 2, 3, 8, 21]. Ключевыми факторами развития рынка услуг нового поколения являются:

разнообразие услуг, предоставляемых по конкурентоспособным и понятным тарифным планам, учитывающим потребности различных категорий абонентов;

широкий выбор терминалов, доступных по ценам и удобных в эксплуатации; отсутствие проблем с покрытием территории, наличие разных видов роуминга. Ассортимент неголосовых услуг мобильных сетей очень широк и продолжает постоянно увеличиваться. Вот лишь некоторые примеры:

SMS – служба коротких сообщений, позволяющая обмениваться текстовыми сообщениями;

MMS – усовершенствованный вариант SMS, который включает в себя не только текстовое сообщение, но и мультимедийное содержание (фотографии, музыку, голосовые сообщения);

GPRS и WAP, или мобильный Интернет, благодаря которым абонент получает доступ к сети Интернет, имеет возможность просматривать Web-страницы, закачивать различные данные, вести переписку по электронной почте;

услуги LBS (Location-Based Services), основанные на определении текущего местоположения мобильного телефона абонента;

услуги информационного обеспечения VAS (Value-Added Services), известные как "поставка контента". В них акцент делается на содержании, то есть на том, что именно предоставляется абоненту.

Систематизируем различные виды перспективных мультимедийных услуг (ММ-услуг), для предоставления которых необходимо формировать цифровые потоки информации различной скорости. Среднескоростные и высокоскоростные ММ-услуги аналогичны Web-услугам. Средний объем данных, передаваемых при среднескоростных ММ-услугах, равен 0,5 Мбайт за 14 секунд (что дает абонентскую скорость 286 кбит/с), а для высокоскоростных ММ-услуг — 10 Мбайт за 53 секунд (1,51 Мбит/с). Предполагается, что интерактивные ММ-услуги будут использовать симметричные каналы с пропускной способностью 128 кбит/с, длительность вызова для этой услуги составляет 180 секунд при реальной длительности вызова 144 секунд.

В РК ожидается обострение конкурентной ситуации по следующим направлениям деятельности:

а) мобильные операторы активизируются в борьбе за лицензии сетей поколения 3G;

б) традиционные операторы и провайдеры услуг IP-телефонии внедряют мультисервисные сети для привлечения или удержания абонентов широким спектром услуг.

В настоящее время во многих странах начали активно оказываться конвергентные фиксированно-мобильные услуги (Fixed Mobile Convergence). Например, в США такие услуги оказывает оператор T-Mobile US, используя собственную сеть доступа Wi-Fi. Точки доступа T-Mobile размещены в общедоступных местах. В Европе конвергентные услуги оказывают операторы British Telecom, France Telecom и TeliaSonera. Причем тарифы на телефонную связь по сети Wi-Fi стали ниже, чем тарифы на сети фиксированной связи. Абоненты готовы переходить на новые услуги, что позволяет экономить до 20% от нынешних расходов, невзирая на дополнительные расходы. Например, для перехода на новые услуги абонентам нужно подписаться на услуги Wi-Fi (в среднем, 10 долл. США), приобрести точку доступа Wi-Fi (40-60 долл. США) и

телефон (200-500 долл. США). Ряд исследователей предполагает [1, 6, 29, 76, 77, 78, 80], что беспроводная индустрия будет определяться тремя вещами: во-первых, тем, насколько успешно операторы мобильной связи будут внедряться на рынок услуг голосовой фиксированной связи; во-вторых, их заинтересованностью в услугах, приносящих не слишком много прибыли на мегабит переданной информации (таких, как широкополосный доступ в Интернет); в-третьих, степенью развертывания широкополосных систем W-CDMA по сравнению с альтернативными решениями.

Одновременно с обострением конкуренции растет понимание того, что ни один оператор не в состоянии самостоятельно обеспечить любой пакет услуг связи любому пользователю. Отсутствие необходимой инфраструктуры связи, способствует развитию сотрудничества между операторами сетей фиксированной мобильной связи, созданию сервис-компаний, интегрирующих услуги различных сетей связи. Например, девиз конвергенции сотовых сетей мобильной связи и корпоративных сетей связи, отличающихся высоким уровнем развития и привлечением бизнес-пользователей с набором наиболее современных устройств (рисунок 1.9), можно определить так: «нужен единый номер и определенный набор услуг» [14].

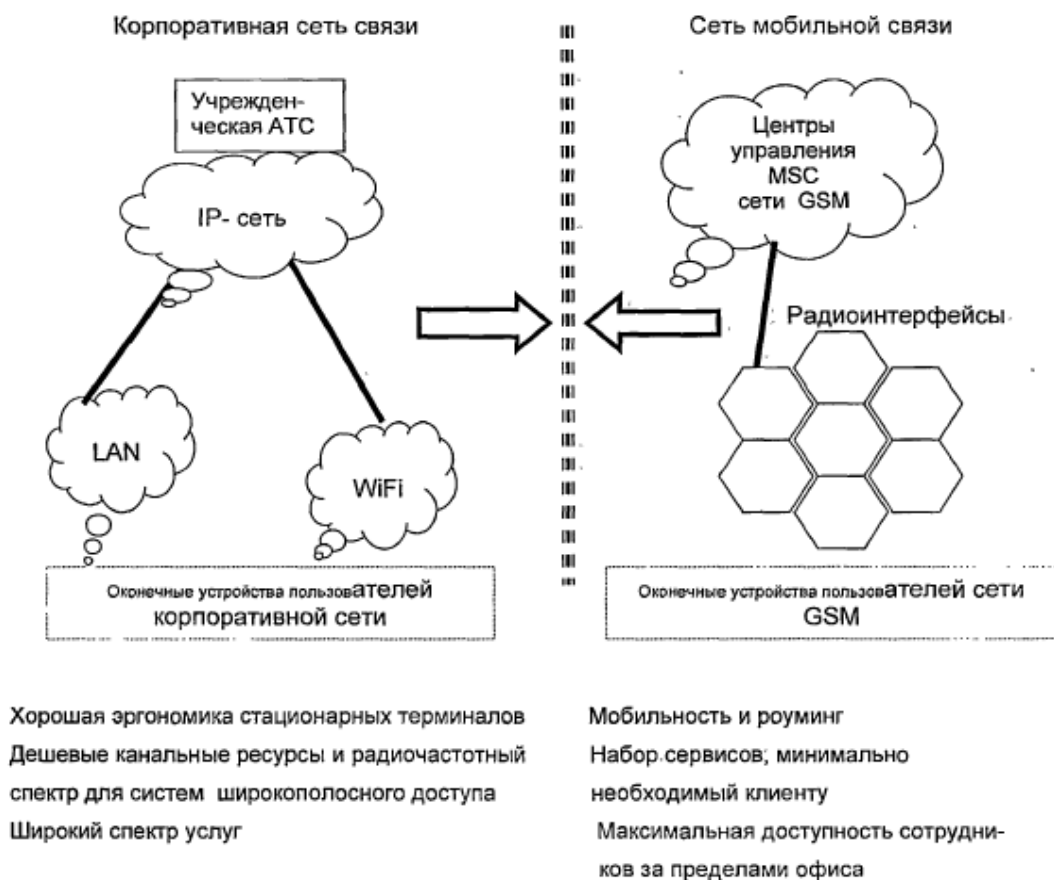


Рисунок 1.9 Достоинства корпоративной и сотовой сетей, участвующих в конвергенции

Значительному расширению рынка систем сотовой подвижной радиосвязи способствует универсальность внедряемых в настоящее время цифровых сетей, удовлетворяющих требованиям широкого круга пользователей, включая деловых людей, граждан и специальные службы. Все перспективные цифровые сотовые системы подвижной радиосвязи позволяют обеспечить шифрование передаваемых сообщений, закрытие данных пользователей и аутентификацию абонентов и оборудования. Стоимость услуг для абонентов СПС-ОП постоянно снижается во многом за счёт расширения абонентской базы и жёсткой конкуренции между операторами.

Ожидается, что доминирующее положение сохранят следующие услуги:

речевые услуги, соответствующие голосовому кодексу на 16 кбит/с (эффективная длительность вызова обычно рассчитывается на основе средней длительности вызова (120 секунд) и коэффициента занятости (0,5); использование коэффициента занятости 0,5 подразумевает, что система должна работать в режиме передач с обработкой нарушения соединений);

простой обмен сообщениями (обычный размер простого сообщения составляет 40 кбайт, приемлемая задержка для данного вида услуг равна 30 секундам);

служба передачи данных с коммутацией каналов, представляющая собой услугу со скоростью передачи 14 кбит/с (передача данных в сетях GSM).

Однако, исследования консалтинговой компании Juniper Research, показали, что только азартные игры и просмотр контента «для взрослых» при помощи беспроводных технологий могут принести до 6,5 млрд долл. прибыли. Основным приоритетом должна стать безопасность передаваемого содержания, в том числе защита несовершеннолетних детей от соприкосновения с ним. Следующее условие – надежная платежная система, которая будет пользоваться доверием пользователей и обеспечивать макро и микроплатежи за услуги и удобный возврат выигранных. Необходимо обеспечить защиту от спама и не допускать его в этот мир серьезных игр и больших денег. Не менее серьезно следует относиться к защите прав собственности оператора связи и поставщика контента. По оценкам Juniper Research, обороты этого рынка к 2014 году составят более 1,5 млрд долларов.

Развитие таких услуг мобильной связи, как передача музыки, новостей, спортивных клипов, стимулирует объединение мобильной индустрии и индустрии развлечений. В ближайшее время ожидается рост рынка новых мультимедийных услуг, поддерживающих музыку и видеоклипы, телевизионные каналы, разработку игр. Одним из многообещающих направлений являются мультимедийные услуги, требующие потоковой передачи данных (streaming multimedia). Потоковая передача данных означает,

что информация, запрашиваемая пользователем, попадая в память мобильного терминала, практически сразу воспроизводится. В этом состоит разница между потоковой передачей (Streaming) и загрузкой информации (Downloading). Потоковая информация не хранится в памяти и пропадает сразу же после ее получения. Такой подход позволяет получать файлы намного большего размера, чем те, которые могут храниться в памяти телефона.

Конвергентные сетевые структуры, объединяющие возможности различных технологий позволяют получить принципиально новые услуги в режиме мультивещания (multicast). Примерами такого рода услуг могут служить широкополосные телевизионные каналы обычного или кабельного телевидения, мультивещание с ориентацией на конкретные районы или аудитории, покупка товаров и услуг в режиме on-line, обеспечение доступа клиентов к потокам от Web-камер для наблюдения за удаленными объектами. Новым требованием к IMS стала возможность гибкой тарификации мультимедийных сессий. Оборудование сети IMS может тарифицировать сессии как простым способом – в зависимости от объема трафика или длительности сессии, так и использовать сложные схемы, учитывающие пользовательские политики, объемы компонент медиаданных, предоставляемые услуги.

Перспективная концепция IMS открывает дорогу услугам Push-to-Talk (полудуплексная связь, когда сотовый телефон используется как терминал системы профессиональной мобильной радиосвязи) с функцией определения присутствия вызываемого абонента, технологии Unlicensed Mobile Access (UMA), PhotoTalk ("фоторазговору"), Instant Messaging, MultiChat и другим услугам.

1.3 Методы описания сетей подвижной связи и постановка задачи

Задача нормирования показателей качества по этапам соединения тесно связана с общей задачей оптимального построения систем распределения информации. Специфика развития СПРС-ОП заключается в стремлении эффективного использования радиointерфейса в качестве общего ресурса, имеющего фиксированную емкость. Мобильные сети связи второго и, особенно, третьего поколения интегрированы и рассчитаны на передачу различных видов информации, их структура еще больше усложнены. В этих условиях задача оптимального построения СПРС-ОП приобретает общегосударственное значение.

При проектировании СПРС-ОП основной акцент делается на вопросах оценки пропускной способности радиointерфейса и отдельных элементов сети мобильной связи, которая характеризуется интенсивностью нагрузки, пропущенной с заданным качеством связи [7, 8, 14, 23]. Существуют два базовых подхода к оценке качества работы проектируемых и

функционирующих СПРС-ОП:

для предполагаемой структуры сети может производиться оценка показателей качества связи, таких как отношение «сигнал/шум», вероятность потери информации при передаче и так далее, с учетом различных факторов, определяющих качество связи;

расчет и нормирование величин показателей качества обслуживания по участкам сети связи методами теории телетрафика.

Основным инструментом исследования в теории телетрафика является метод уравнений вероятностей состояний, основанный на принципе статистического равновесия. Для системы обслуживания вводится понятие состояния. В простейшем случае состояние системы характеризуется одной случайной переменной, например числом занятых линий или вызовов, находящихся на обслуживании. Интенсивности перехода из одного состояния в другое обычно известны на основании свойств потоков вызовов и освобождений. Это позволяет для каждого состояния системы составить уравнение, связывающее между собой вероятности соседних состояний. Системы таких уравнений дают точное решение задачи в пределах принятой математической модели. Систему можно решить аналитически или численно с использованием программ на ЭВМ. Примером аналитического решения являются распределения Эрланга, Энгсета, Пуассона [4, 9, 11, 17].

При отсутствии аналитического решения в ряде случаев удается построить вычислительный алгоритм на основе рекуррентных соотношений, получаемых непосредственно из системы уравнений. Четко выраженной границы между аналитическим и рекуррентным методами нет. Одна и та же задача может решаться как аналитическим, так и рекуррентным методом. Особое место в теории телетрафика занимают инженерные методы. Их появление обусловлено отсутствием точных методов расчета и необходимостью оценки пропускной способности сетей связи сложной структуры. Точность инженерных методов оценивается, как правило, с помощью статистического моделирования.

Математическая модель процесса обслуживания при этом реализуется в виде программы для ЭВМ. Результаты статистического моделирования используют для проверки гипотез и предположений, уточнения эмпирических коэффициентов. При моделировании получают приближенную оценку характеристик качества обслуживания, однако за счет увеличения времени, а также применения специальных методов моделирования может быть достигнута требуемая точность.

Построение и развитие сетей подвижной радиотелефонной связи в РК предполагает адаптацию системных параметров и ресурсов сетей к конкретным географическим и демографическим особенностям территорий, к уровню проникновения дополнительных услуг, а также к величине, пространственному распределению и плотности абонентской нагрузки. Наиболее конкурентоспособными являются технологии «семейства GSM» с временным

уплотнением каналов и технологии с кодовым разделением каналов CDMA. Актуальным направлением исследований становятся системный анализ и синтез структуры созданных и разворачиваемых цифровых СПРС-ОП РК с учетом внедрения мультимедийных услуг системы стандартов UMTS/IMT200. Переход к перспективной концепции IMS, предусматривающей присоединение сетей подвижной связи к сетям фиксированной связи, должен обеспечить для пользователей создание новых, объединение и совершенствование существующих сервисов, основанных на передаче речи, текста, графики и видео в любой комбинации.

Мобильность пользователей является важным фактором перераспределения потоков трафика на существующих сетях мобильной и фиксированной связи. Влияние этого фактора должно учитываться при расчете пропускной способности отдельных участков СПРС-ОП и всей сети в целом в сочетании с такими факторами, как организация мобильной связи с использованием оборудования различных цифровых стандартов, а также уровень проникновения мультимедийных услуг, требующих для своей реализации повышенных скоростей передачи информации.

Пропускная способность отдельных элементов сетей мобильной связи общего пользования характеризуется интенсивностью нагрузки, которая может быть пропущена с заданным качеством связи. Общей проблемой при построении СПРС-ОП является эффективное использование уникального природного ресурса – частотного диапазона, а также определение требований в пропускной способности транспортного уровня сети. Предполагается рассматривать СПРС-ОП как многофазную систему массового обслуживания с целью выявления узких мест, существенно снижающих пропускную способность сети в целом.

Актуальной научной задачей является разработка метода расчета пропускной способности сети мобильной связи общего пользования, позволяющего учесть мобильность пользователей и степень проникновения мультимедийных услуг.

2 Математическая модель предоставления услуг в сетях подвижной связи

2.1 Определение совокупности вероятностных характеристик и параметров

Поскольку одно из основных предназначений системы мониторинга NGN – мониторинг параметров качества обслуживания – проанализируем во второй главе характеристики параметров качества обслуживания в NGN.

Принципиальное отличие проблемы качества обслуживания в сетях с коммутацией пакетов от сетей с коммутацией каналов заключается, прежде всего, в их мультисервисности, в предоставлении разнообразных услуг пользователю, в том числе по передаче данных и видео, при сохранении,

естественно, услуг по передаче речи.

Многообразие услуг порождает и многообразие требований по обеспечению качества обслуживания. При этом, вводится как понятие классов обслуживания, так и дополнительные (по сравнению с сетями с коммутацией каналов) нормируемые параметры качества обслуживания.

Одной из целей анализа и синтеза сетей связи общего пользования является обоснование необходимой пропускной способности на различных участках сети. При синтезе сети подвижной радиотелефонной связи общего пользования, которая может рассматриваться как многофазная многоканальная система массового обслуживания, должно учитываться неравномерное распределение абонентов на территории сети и соответствующее изменение интенсивности поступающей нагрузки, влияние мультимедийных услуг и эстафетной передачи мобильных абонентов между базовыми станциями. Наиболее проблемным всегда был и до сих пор остается участок соединительного тракта, который приходится на радиointерфейс базовой станции.

В цифровых системах подвижной связи последних поколений имеется возможность значительного увеличения общего числа каналов трафика в радиointерфейсе одной базовой станции. Например, в системах стандарта GSM900 контроллер базовой станции может обслуживать до 720 каналов трафика, а в системах стандарта CDMA при использовании шестисекторных сот общее число каналов трафика в соте достигает $55 \times 6 = 330$ каналов[3, 10, 19].

Общее число каналов трафика в радиointерфейсе базовой станции сети подвижной связи остается ограниченным ресурсом. При проектировании сети мобильной связи выбор числа каналов трафика в радиointерфейсе базовой станции производится для речевого трафика, и должен учитывать ожидаемое изменение интенсивности нагрузки. Широкое внедрение мультимедийных услуг будет менять ситуацию. Отличительной особенностью мультимедийных услуг является потребность в повышенной скорости передачи, для реализации которой предусматривается объединение нескольких канальных структур (каналов трафика в сетях GSM900 или CDMA). Если требуется передавать ограниченные объемы информации, увеличение совокупной скорости передачи позволяет существенно снизить продолжительность передачи информации, то есть интенсивность обслуживания будет снижаться в условиях роста числа одновременно задействованных каналов. Исключения составляют случаи, когда организуются длительные сеансы связи, вызывающие уменьшение числа доступных пользователям каналов радиointерфейса.

Актуальной научной проблемой становится разработка математической модели процесса предоставления услуг в сетях мобильной связи и исследование вероятностных характеристик радиointерфейса базовой станции в условиях реализации мультимедийных услуг. Разрабатываемая математическая модель должна учитывать групповой характер поступления требований (заявок) на обслуживание, поскольку для обслуживания вызова в

радиоинтерфейсе требуются несколько каналов трафика. Предлагается рассматривать группу каналов радиоинтерфейса базовой станции как систему массового обслуживания, на которую поступают потоки вызовов, для обслуживания которых требуется занятие группы каналов.

Определим совокупность вероятностных параметров и характеристик, описывающих функционирование сети подвижной связи [1, 2, 9]. Параметры, характеризующие обслуживание вызовов на сетях подвижной связи, можно разбить на три группы:

- параметры, связанные с особенностями распространения радиоволн;
- параметры, отображающие особенности поступления вызовов;
- параметры, отражающие случайные процессы при обслуживании вызовов.

Практически все участники рынка мобильной связи согласились с тем, что будущее мобильной связи за развитием широкого спектра услуг, основанных на высокоскоростной передаче данных. Качество предоставления сетью связи мультимедийной услуги определяют следующие характеристики: доступность услуги; задержка передачи; флуктуация задержки; потери информации при передаче (вероятность ошибки при приеме отдельных битов или целых кадров); скорость передачи.

2.1.1 Анализ требований к качеству связи при обслуживании различных приложений

Понятие «требуемый уровень качества» подразумевает возможность определения и обеспечения для каждого пользователя уровня качества, соответствующего оплате услуг. Абонент должен представлять себе потребительские характеристики услуг, которые предлагает оператор, а указанные в договоре значения показателей качества операторская компания обязана строго соблюдать. В таблице 2.1 представлены основные требования к качеству обслуживания различных приложений, применение которых перспективно для СПРС-ОП. Каждое приложение предъявляет свои требования к качеству обслуживания сети и имеет разную «чувствительность» к указанным показателям [6, 14, 23, 26].

Т а б л и ц а 2.1 Основные приложения и их требования к качеству обслуживания

Приложение	Скорость передачи	Макси-	Макси-	Зависимость
------------	-------------------	--------	--------	-------------

	Требование к равномерности	Минимально «комфортная» скорость, кбит/с	мальная вероятность ошибок на приеме (BER)	мальная задержка передачи, с	от вариации задержки передачи
Голосовая телефония	Постоянная	8-16	$1 \cdot 10^{-3}$	1-2	Большая
Видеотелефония	Постоянная	56-64	$1 \cdot 10^{-3}$	1-2	Большая
Видео по запросу	Скорость может меняться в течение сеанса	56 (для информационных роликов хорошего качества), 100-120 (для роликов телевизионного качества)	$1 \cdot 10^{-3}$	Незначительно влияет на качество услуги	Средняя (определяется размером буфера приемного устройства)
Web-browsing		30-40	$1 \cdot 10^{-6}$	10-15	Слабая
Передача файлов		От 9,6 (чем выше, тем лучше)	$1 \cdot 10^{-6}$	10-15	Слабая
Электронная почта		10-20	$1 \cdot 10^{-6}$	10-15	Слабая
Телеметрия		0,1-9,6	$1 \cdot 10^{-6}$	10-15	Слабая

Качество цифрового канала оценивается по коэффициенту ошибок Bit Error Rate, который может быть определен как $BER = n/N$, где n — количество неправильно принятых битов информации; N — общее количество принятых битов.

При пакетной передаче данных эффективна оценка качества канала по коэффициенту ошибок. Однако для цифрового канала при передаче речи этого недостаточно, поскольку требуется обеспечить абоненту ряд характеристик аналогового речевого сигнала (динамический диапазон, разборчивость, узнаваемость), которые нельзя оценить по коэффициенту ошибок.

Существующие методы оценки качества речи можно разделить на две группы – методы экспертной оценки и аналитические. Для аналоговых радиоканалов используются в основном методы экспертной оценки. Аналитические методы применяются исключительно для цифровых сигналов.

Важнейшей характеристикой радиосигнала, является его мощность в момент получения. Именно она определяет размеры сот, а также выбор одной из сот при эстафетной передаче. Шум и интерференция сильно отражаются на качестве приема радиосигнала. Многие перспективные системы мобильной связи довольно устойчивы по отношению к интерференции, но не устойчивы к шуму. Например, в сетях технологии CDMA система пытается автоматически поддерживать приемлемый уровень ошибок при передаче (путем изменения мощности приемопередающих устройств), поэтому на практике для оценки качества коммутируемых услуг потери информации обычно игнорируются [5, 16, 25].

Практика многолетней эксплуатации сотовой сети технологии CDMA показывает, что наиболее частое влияние на снижение качества связи из-за поражения помехой приемника базовой станции оказывают узкополосные помехи. Имея различную интенсивность, они действуют практически ежедневно, снижая в различной степени качество связи отдельных базовых станций. При этом, в среднем два раза в неделю в сети действуют мощные помехи, каждая из которых поражает в среднем шесть секторов окружающих базовых станций, вызывая значительный объем жалоб абонентов, у которых теряется возможность связи или резко ухудшается ее качество. О таких случаях официально сообщаются в соответствующие агентства [17].

Поскольку наличие в сети непреднамеренных помех приводит к снижению качества связи и пропускной способности пораженных помехой базовых станций, то оператор несет материальные и моральные потери. Хотя поддержание постоянной эксплуатационной готовности выделенной оператору полосы частот является по закону "О связи" обязанностью Администрации связи, последняя в большинстве случаев ни технически, ни организационно, ни в правовом отношении не готова обеспечить оперативное устранение действующих в сети помех.

Восприятие шума зависит также от того, где находится мобильный абонент: внутри здания или снаружи. Как правило, вне зданий мощность источников шума (зажигание автомобилей, линии электропередачи) быстро затухает. При нахождении мобильного абонента внутри здания это воздействие становится существенным. Большинство из перечисленных явлений может быть учтено при помощи эмпирических формул, а также выбором варианта предоставления услуг.

Как показано в таблице 2.2 режимы обслуживания в СПРС-ОП делятся на режим коммутации каналов и режим коммутации пакетов. Режим коммутации каналов предоставляет пользователю постоянную скорость передачи данных,

постоянную задержку и практически нулевую флуктуацию задержки. Остаются два показателя, которые характеризуют качество услуг в режиме коммутации каналов: доступность и потери информации при передаче. Основными в оценке качества коммутируемых услуг остаются характеристики доступности. Главные из них – доля вызовов, которым было отказано в обслуживании (блокировки входящих вызовов), и доля установленных соединений, прерванных не пользователями, а сетью (так называемая величина dropped call rate). Усилия операторов направлены, прежде всего, на обеспечении качества основной услуги – телефонии. Для голосовых услуг существуют хорошо отработанные методы контроля качества, которые появились еще на проводных телефонных сетях. Однако для услуг передачи данных они не подходят.

Т а б л и ц а 2.2 Основные режимы обслуживания в сетях мобильной связи поколений 2,5G и 3G

Стандарт	Режим обслуживания	Скорость передачи, кбит/с	Обслуживаемое приложение
WCDMA (UMTS)	Коммутация каналов	12,2 64	Голосовая телефония Видеотелефония, передача данных с постоянной скоростью и задержками
	Коммутация пакетов	До 384 До 2048	Передача данных, видео для подвижных абонентов внутри помещений Передача данных, видео для неподвижных абонентов внутри помещений

Продолжение таблицы 2.2

CDMA 2000 1X	Коммутация каналов	9,6 14,4	Голосовая телефония Передача данных с постоянной скоростью и задержками
--------------	--------------------	-------------	--

	Коммутация пакетов	До 153,6 или 307	Передача данных и видео
CDMA 2000m EV-DO	Коммутация пакетов	До 2400	Передача данных, видео, IP-телефония

Тестированием и анализом качества услуг передачи данных обычно занимаются независимые организации (тестовые лаборатории, периодические издания, специализирующиеся на мобильной связи).

Методика таких исследований включает в себя, как правило, измерение: времени отклика тестового сервера сети Интернет для определения доступности интернет-узла и измерения времени задержки отклика; средней скорости передачи тестового файла.

Однако пользоваться результатами таких тестов следует осторожно. Во-первых, время отклика тестового сервера ничего не говорит о качестве связи в сети 3G. Известно, что время отклика складывается из задержки передачи в мобильной сети, задержки передачи во внешней сети Интернет и времени, необходимого серверу на генерацию отклика. Последние два параметра могут меняться в широких пределах в зависимости от загрузки сети и тестового сервера и, как правило, не зависят от процессов в сети оператора мобильной связи.

Во-вторых, средняя скорость ПД измеряется только для передачи больших файлов. Однако, как показали результаты тестирования опытных сетей 3G, скорость передачи небольших объемов данных (web-серфинг, электронная почта, обмен «мгновенными» сообщениями) может заметно отличаться от скорости, полученной при тестировании сети с использованием файлов большого объема.

Таким образом, технологии 2,5G и 3G в режиме коммутации пакетов на уровне радиointерфейса, не предоставляют пользователю гарантий качества обслуживания. Скорость передачи, выделяемая пользователю, постоянно меняется и зависит от текущей нагрузки на радиointерфейс соты (ячейки сети), от уровня помех и наличия интерференции. Соответственно изменяются задержки передачи и характеристики доступности услуги. Единственным инструментом оператора в регулировании качества услуг остается максимальная скорость передачи абонента.

2.1.2 Определение совокупности параметров и характеристик теории телетрафика

Группа параметров, характеризующих обслуживание вызовов на сетях подвижной связи, определяет особенности поступления вызовов от мобильных абонентов. Интенсивность потока вызовов зависит от параметров соты, числа

абонентов на территории соты и от того, какой вид обслуживания запрашивает абонент (передача речи, мультимедийная услуга). Общей традиции, принятой в теории массового обслуживания для описания потоков поступающих вызовов, соответствует предположение, что поток поступающих вызовов подчиняется закону Пуассона.

В системах поколения 2,5G и 3G каждый вызов с некоторой известной вероятностью требует заданное число радиоканалов трафика для своего обслуживания, то есть имеет место групповое занятие каналов трафика. При передаче речи происходит занятие одного радиоканала трафика. Для реализации мультимедийной услуги может заниматься группа радиоканалов трафика, что обеспечит более высокую скорость передачи данных, поскольку имеется прямо пропорциональное соотношение между числом задействованных каналов трафика и скоростью передачи информации. Таким образом, в системах поколения 3G каждый вызов с некоторой известной вероятностью требует заданное число радиоканалов трафика для своего обслуживания, то есть имеет место групповое занятие каналов трафика [8, 10].

При проектировании для сетей мобильной связи может быть использовано предположение об экспоненциальном характере распределения времени обслуживания, которое традиционно используется при проектировании телефонных сетей фиксированной связи. Можно ожидать, что такое предположение будет справедливо при условии, что речевой трафик остается основным трафиком сети мобильной связи. Как отмечала Е.К. Венцель, предположение об экспоненциальном распределении времени обслуживания может быть сделано, если выполняется соотношение:

«Значительная часть вызовов имеет малую продолжительность обслуживания, и меньшая часть вызовов требует длительного обслуживания».

При передаче смешанного трафика речи и данных использование этого утверждения дает следующие преимущества:

возможность использования развитого аппарата теории массового обслуживания, который содержит значительное число рекомендаций и подходов для описания многофазных многоканальных систем массового обслуживания с отказами и с ожиданием, в качестве которых могут рассматриваться любые сетевые структуры;

использование предположения об экспоненциальном распределении времени обслуживания соответствует наиболее «тяжелым» условиям работы сети.

Появление в сетях мобильной связи трафика услуг мультимедиа может менять ситуацию, поскольку могут появиться потоки вызовов, резко отличающихся по времени обслуживания от основной массы вызовов. Эту особенность при проведении расчетов пропускной способности радиоинтерфейса базовых станций следует учитывать путем использования специальных ограничений и допущений.

Проектирование телефонных сетей связи общего пользования ведется для часа наибольшей нагрузки. Проблема заключается в том, что абонентскому

трафику, как отмечается в работах [13], присуща значительная неравномерность поступления вызовов. Чтобы учесть изменения интенсивности нагрузки в течение часа наибольшей нагрузки при проектировании ТФОП, вместо интенсивности нагрузки $Y_{\text{ЧНН}}$ используется несколько большая по величине расчетная нагрузка:

$$Y_{\text{ЧННр}} = Y_{\text{ЧНН}} + h y_Y^2, \quad (2.1)$$

где $h y_Y^2$ - дисперсия нагрузки;

h – некоторое число больше нуля. Выбор величины h производят на основании обработки данных сбора статистики для построения доверительного интервала оценки среднего значения нормально распределенной случайной величины. Использование расчетной нагрузки позволяет обоснованно увеличивать число линий в пучке и в итоге получить лучшее соответствие между проектными и наблюдаемыми показателями работы сети связи.

Применительно к цифровым системам коммутации ТФОП рекомендованы к использованию эмпирические зависимости для расчетной нагрузки Y_p используемые при проектировании цифровых систем коммутации [21]:

$$Y_{\text{ЧННр}} = Y_{\text{ЧНН}} + 0,27\sqrt{Y_{\text{ЧНН}}}, \quad (2.2)$$

где $Y_{\text{ЧНН}}$ – интенсивность нагрузки на некоторый пучок каналов связи (приборов), определяемая как $Y_{\text{ЧНН}} = \lambda/\mu$, где λ – интенсивность поступления вызовов и μ – интенсивность обслуживания вызовов. В любом случае расчетная нагрузка несколько выше прогнозируемой нагрузки в ЧНН:

Аналогичный подход может быть использован для расчета радиоресурсов и ресурсов соединительных линий на участках сетей подвижной радиотелефонной связи общего пользования. В таблице 2.3 представлены данные о параметрах и характеристиках СПРС-ОП и телефонной сети общего пользования (ТФОП), рекомендуемые для проведения расчетов в соответствии с ведомственными нормами технологического проектирования комплексов сетей сотовой и спутниковой подвижной связи общего пользования [15]. Интенсивность нагрузки на участке сети в ЧНН (в том числе, на участке радиодоступа базовой станции) может определяться как

$$Y_{\text{ЧНН}} = y_1 N, \quad (2.3)$$

где y_1 – удельная абонентская нагрузка в час наибольшей нагрузки (ЧНН);

N – число абонентов.

Т а б л и ц а 2.3 Параметры и характеристики СПРС-Ц и ТФОП

Параметры и характеристики	СПРС-ОП	ТФОП
1. Удельная абонентская нагрузка в час наибольшей нагрузки (ЧНН)	0,015 Эрл	0,044-0,14 Эрл
2. Доля междугородных вызовов	10%	5%
3. Доля международных вызовов	10%	5%
4. Распределение нагрузки сети по часам суток (часы пик)	11-19 часов	10-12ч, 14-17ч, 20-23 часа
5. Коэффициент концентрации нагрузки в ЧНН	0,09	0,10
6. Средняя продолжительность вызова	100-120 с	90-100 с

Составляющие абонентской нагрузки рассчитываются для каждого из намеченных этапов развития сетей мобильной связи с учетом ожидаемых величин на основе статистических данных и маркетинговых оценок динамики роста и изменения параметров абонентской нагрузки, а также определенного избытка пропускной способности. Современное оборудование сетей подвижной радиотелефонной связи позволяет осуществлять присоединение к стационарной телефонной сети общего пользования ТФОП на любом иерархическом уровне – местном, внутризоновом и междугородном. Взаимодействие сетей СПРС-ОП разных стандартов организуется, как правило, через средства ТФОП. Между центрами коммутации сетей СПРС-ОП разных стандартов, расположенных в пределах одной географической зоны нумерации сети ТФОП, допускается организация прямых связей.

Потребность оператора в методике контроля качества услуг на основе передачи данных ощущается на этапе проектирования. Если оператор не в силах сам определить требования к качеству таких услуг, инициативу может проявить поставщик оборудования. При этом он определяет качество обслуживания в будущей сети по собственным показателям и исходным данным, которые могут расходиться с представлениями оператора. А в итоге именно оператору придется отвечать перед своими абонентами за качество

услуг. В идеале сеть должна обеспечивать для каждого приложения индивидуальный режим обслуживания (передачи), а приложение – иметь возможность «договариваться» с сетью. Разработчикам систем мобильной связи 3-го поколения пришлось пойти на компромисс и обеспечить в сети несколько базовых режимов обслуживания, которые будут использоваться всеми приложениями. Как показывает опыт создания сетей подвижной связи поколения 3G в Европе, качество обслуживания в сетях мобильной связи 3G должно закладываться еще на этапе их проектирования. Если абонент разочаруется в новых услугах, то деньги на строительство такой сети будут потрачены впустую. Например, компания Hutchison 3G UK запустила в Великобритании сеть 3G, однако абоненты этой сети смогли нормально пользоваться только голосовыми услугами, а качество видео и высокоскоростной передачи данных вызывало множество нареканий. Абоненты и оператор зачастую по-разному понимают качество. До сих пор можно видеть различные, порой противоречивые, оценки качества услуг передачи данных в сетях GSM/GPRS.

Пропускная способность СПРС-Ц определяет доходы оператора подвижной связи и должна соответствовать величине и соотношению основных составляющих абонентской нагрузки от постоянных и временных абонентов сети, а также учитывать влияние мультимедийных приложений.

2.2 Обоснование требований к групповому качеству обслуживания абонентов поколения 3G

При оценке качества услуг в сетях 3G в режиме коммутации каналов (в основном это голосовые услуги) могут быть использованы методы и методики для сетей мобильной связи предыдущих поколений. Показатели качества обслуживания в режиме коммутации каналов (услуги телефонии), обеспечивающие приемлемое качество услуг оператора, хорошо известны сетевым специалистам, требования к ним задаются нормативами Министерства транспорта и коммуникаций Республики Казахстан. Методы и методики для сетей мобильной связи предыдущих поколений целесообразно дополнить критериями и показателями, которые могут быть применены для оценки качества услуг в режиме коммутации пакетов. Для этого могут быть использованы два критерия – доступность и скорость передачи.

Пример формирования оценки по этим критериям рассмотрим, используя статистические показатели сети CDMA2000, представленной в таблице 2.4. В сети CDMA2000, как и в сетях других стандартов, доступность услуг, прежде всего, определяется на уровне радиointерфейса. В режиме коммутации каналов и пакетов основной характеристикой доступности на уровне радиointерфейса CDMA2000 является величины блокировок из-за недоступности совокупности каналов трафика TCH (Traffic Channel). Блокировка по совокупности каналов

трафика ТСН означает, что пользователь в данный момент не может занять необходимую совокупность каналов для реализации мультимедийной услуги.

В режиме коммутации пакетов основной характеристикой доступности является величина блокировок по каналам персонального вызова РСН (Paging Channel). Блокировка по каналу РСН означает, что пользователь в данный момент не может передать или получить некоторый блок данных.

В сетях с большим числом абонентов, постоянно находящихся в режиме online, необходимо обращать внимание на блокировки на стыке BSC-PCF (между контроллером базовых станций и подсистемой передачи данных). Дело в том, что в таких условиях при недостаточной пропускной способности этого стыка могут возникнуть дополнительные потери входящей нагрузки в виде невозможности установления или постоянных обрывов сеансов связи с Интернетом:

Т а б л и ц а 2.4 Основные показатели для оценки качества обслуживания в сети CDMA2000

Режим обслуживания	Статистические показатели
Коммутация каналов	Доля вызовов, которым было отказано в обслуживании (блокировки по радиоинтерфейсу) Доля вызовов, прерванных сетью (dropped call rate) В отдельных случаях – количество ошибок на приеме (BER или FER)
Коммутация пакетов	Величина блокировок каналов РСН при установлении соединений для передачи данных Величина блокировок на стыке BSC-PGF Распределение частоты установления каналов SCH различной скорости

Известно, что основной «транспорт» сетей CDMA2000 в режиме коммутации пакетов – каналы синхронизации SCH (Synchronization Channel). В зависимости от обеспечиваемой ими скорости передачи они могут быть разделены на четыре группы: SCH2x – 19,2 кбит/с; SCH4x – 38,4 кбит/с; SCH8x – 76,8 кбит/с и SCH16x – 153,6 кбит/с. Выбор типа канала SCH производится подсистемой базовых станций, исходя из текущей радиообстановки в соте [7].

Что касается нормирования показателей качества обслуживания при коммутации пакетов, то здесь многое нужно начинать с нуля. Операторы и организаторы бизнеса 3G, включая поставщиков оборудования, не в полном объеме представляют себе, какие значения этих показателей соответствуют заявленному качеству обслуживания или хотя бы приемлемы. Поэтому

операторам придется самостоятельно вырабатывать нормы на новые для них услуги. На этапе проектирования сети 3G, имеется потребность в определении допустимой величины блокировок по каналам SCH, PCH и на стыке BSC-PCF. Имеются предложения [2, 27] задавать эти величины на таком же уровне, что и аналогичные показатели для речевых услуг, то есть порядка 2...5%. Кроме того, среднюю скорость можно задать на уровне 30-40 кбит /с, если планируется предоставлять не слишком требовательные к ресурсам приложения (web-серфинг, e-mail и так далее). В случае более ресурсоемких приложений (например, видео по запросу) средняя скорость должна быть не менее 50-60 кбит/с.

2.3 Разработка математической модели функционирования радиointерфейса базовой станции

При расчете и анализе работы конкретных сетей мобильной связи уровня 2,5G и 3G должна учитываться степень проникновения услуг мультимедиа и потребность в предоставлении каналов трафика для реализации конкретных услуг. Используем математический аппарат теории массового обслуживания, разработанный для поступления групповых заявок на обслуживание.

Для удобства представления систем связи в виде СМО обычно используется шестизначная символика Башарина-Кендалла [11]. Первый разряд характеризует поступающий поток вызовов, второй – закон распределения времени обслуживания, третий – структуру системы обслуживания, четвертый – способ обслуживания вызовов, пятый – дисциплину очереди и шестой – порядок занятия свободных приборов. Символами M, D, Eⁿ, HMⁿ, GI в первом разряде обозначают соответственно: экспоненциальное (марковское), регулярное (детерминированное), Эрланговское n-ого порядка, комбинированное n-ого порядка и произвольное (General) распределения независимых (Independent) промежутков между вызовами рекуррентного потока. Эти же символы (только вместо GI используется G) во втором разряде означают соответствующие распределения. Кроме того, в первом разряде символами Mt, Mr и Mi могут обозначаться, соответственно, пуассоновский поток с переменным параметром, с условным параметром и примитивный поток, а символом G - произвольный поток. Для обозначения неординарного потока после соответствующего символа в первом разряде дополнительно указывается символ неординарности I.

Систему обслуживания произвольной структуры обозначают в третьем разряде символом S. Для полных систем используется символ FM (Full Matrix) или указывается только число приборов V. Для неполных систем указываются либо символ G (Grading), либо отдельные символы для равномерных ступенчатых схем: HG (Homogeneous Grading) и PG (Progressive Grading). Вместо этих символов можно указать число приборов V, доступность D, число нагрузочных групп g.

Способ обслуживания без потерь, с явными потерями, ожиданием и повторением обозначается в четвертом разряде соответственно символами LL (Losses), L (Loss), W (Wait) и R (Reattempt). Комбинированный способ обслуживания можно обозначать комбинацией соответствующих символов. Например, символы WL и WR означают, что часть поступающих вызовов обслуживается с ожиданием, ограниченным по времени пребывания вызова в очереди и/или по длине очереди, а часть из-за этого – соответственно с явными потерями или повторением (неограниченным). В пятом разряде символики указывается дисциплина очереди в системе с ожиданием. Общая очередь к обслуживающим приборам подразумевается по умолчанию, а при индивидуальной очереди к каждому прибору или к каждой группе приборов вводится первый символ I (Individual).

Порядок выбора вызова из очереди можно обозначить следующими символами: SP (Same Probability) – равномерный, FF (First-in – First-out) – упорядоченный (первый пришел – первый ушел), LF (Last-in – First-out) – стеновой или магазинный (последний пришел – первый ушел), PR (Priority) – приоритетный, PRR (Relative) – с относительным приоритетом, PRA (Absolute) – с абсолютным приоритетом. Шестой разряд символики используется только в тех моделях, где требуется указать порядок занятия свободных приборов или путей. При последовательном занятии приборов применяется символ S (Sequential), при случайном – символ R (Random).

В сетях мобильной связи поступающие вызовы могут обслуживаться без потерь и с потерями. В первом случае для передачи каждого сообщения немедленно предоставляется требуемое соединение, во втором – часть сообщений получает отказ в обслуживании или их обслуживание задерживается на некоторое время.

В зависимости от используемой дисциплины обслуживания совокупность каналов радиointерфейса базовой станции сети подвижной связи, используемых для обслуживания преимущественно разговорного трафика может рассматриваться как система массового обслуживания (СМО) вида М/М/В/Л, как СМО вида М/М/В/В или как СМО вида М/М/В/ВР [13, 14, 23].

Можно предположить, что для реализации конкретной мультимедийной услуги из совокупности свободных каналов трафика радиointерфейса будет выделяться фиксированное число каналов k для реализации требуемой скорости передачи. Рассмотрим случай, когда число заявок в группе постоянное. Рекуррентные зависимости были получены для следующих допущений: поток групп заявок – пуассоновский; время обслуживания каждой заявки в группе подчинено показательному закону; выбор заявки в группе производится случайно, по закону равной вероятности.

Если входящий поток групп заявок является пуассоновским, то, как и в случае ординарного пуассоновского потока, справедлив вывод из эргодической теоремы Б.А. Севастьянова для марковских процессов, что зависимости, получаемые для стационарного решения, остаются неизменными при любом распределении времени обслуживания, но конечном и постоянном значении его

математического ожидания. Обозначим через k число заявок в группе, через $\lambda_{\text{гр}}$ – интенсивность поступления групп заявок (требований) на обслуживание и через $\alpha_{\text{гр}} = \lambda_{\text{гр}}/\mu$ – интенсивность групповой нагрузки, поступающей на пучок каналов емкостью V , где μ – интенсивность обслуживания заявки в группе. Для этого случая известны следующие рекуррентные зависимости [13, 17].

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \alpha_{\text{гр}} P_0; & (2.4) \\
 2P_2 &= (1 - \alpha_{\text{гр}}) P_1; \\
 (m + 1)P_{m+1} &= (\alpha_{\text{гр}} + m) P_m, m < k; \\
 (m + 1)P_{m+1} + \alpha_{\text{гр}} P_{m-k} &= (\alpha_{\text{гр}} + m) P_m, m \geq k; \\
 \dots\dots\dots \\
 (V + 1)P_V &= \alpha_{\text{гр}} P_{V-k}.
 \end{aligned}$$

Вероятность отказа в обслуживании может быть определена по формуле

$$P_{\text{отк}} = 1 - \frac{\sum_{m=0}^V m P_m}{\alpha_{\text{гр}} k}, \quad (2.5)$$

где P_m – вероятность состояний системы, когда в ней занято обслуживанием ровно m каналов. Величина P_m определяется путем решения системы уравнений (2.4) с учетом нормирующего условия для определения P_0

$$\sum_{m=0}^V P_m = 1. \quad (2.6)$$

Дальнейшим обобщением практических задач, связанных с поступлением в систему массового обслуживания потока групповых требований, является случай, когда число требований в группе случайное. Рассмотрим математический аппарат, который позволяет описать функционирование систем массового обслуживания с потерями при условии поступления в систему пуассоновского потока групп требований случайного состава.

Для исследования перспективных сетей подвижной связи поколения 3G необходимо определить процедуру расчета значений вероятности потерь по вызовам в пределах ячейки сети (блокировки по радиоинтерфейсу), учитывая влияние трафика мультимедийных услуг. Абонент в состоянии разговора (так называемый «активный» абонент) обслуживается с вероятностью ϕ_1 базовой станцией с использованием одного канала связи, который в дальнейшем будем называть «канал трафика». «Активный» абонент может также с вероятностью ϕ_i обслуживаться базовой станцией с использованием i каналов трафика.

Будем рассматривать радиointерфейс ячейки сети мобильной связи как V-канальную полностью доступную систему массового обслуживания, на вход которой поступает пуассоновский поток групповых заявок на обслуживание случайного состава (рисунок 2.1). В соответствии с классификацией Башарина-Кендалла совокупность каналов трафика радиointерфейса базовой станции сети мобильной связи представляет собой СМО вида MI/M/V/L. Это означает, что если в момент t поступила групповая заявка на обслуживание, то с вероятностью φ_1 может поступить лишь одна заявка на обслуживание (на занятие канала трафика) в группе, с вероятностью φ_2 – две заявки в группе, ..., с вероятностью φ_r наличия r заявок в группе. При этом должны выполняться условия $\varphi_r \geq 0, r = 1, 2, 3 \dots$ и $\sum_{r=1}^{\infty} \varphi_r = 1$.

Система дифференциальных уравнений, определяющая все состояния подобной системы, впервые описана в [17] и имеет вид

$$P'_0(t) = -\lambda_{гр}P_0 + \mu P_1(t); \quad (2.7)$$

$$P'_m(t) = -(\lambda_{гр} + m\mu)P_m(t) + \lambda_{гр} \sum_{i=1}^m \varphi_i P_{m-i}(t) + (m+1)\mu P_{m+1}(t), m < V,$$

.....

$$P'_V(t) = -V\mu P_V(t) + \lambda_{гр} \sum_{s=1}^V P_{V-s} \sum_{i=s}^{\infty} \varphi_i,$$

где $P_0(t), P_m(t), P_V(t)$ – вероятности состояний системы, когда в ней заняты обслуживанием соответственно один, m или V каналов;

$\lambda_{гр}$ – интенсивность поступления групп заявок на обслуживание при случайном составе заявок в группе;

μ – параметр интенсивности обслуживания заявок.

Стационарные решения системы дифференциальных уравнений, отображающей особенности обслуживания потока групповых заявок при $t \rightarrow \infty$, были получены в виде системы алгебраических уравнений [17]:

$$P_1 = (\lambda_{гр}/\mu)P_0; \quad (2.8)$$

$$P_{m+1} = \{(\lambda_{гр} + m\mu)/(m+1)\mu\}P_m - \{\lambda_{гр}/(m+1)\mu\}P_{m+1}$$

$$+1)\mu\} \sum_{i=1}^m \varphi_i P_{m-i}, m < V;$$

$$P_V = (\lambda_{гр}/V\mu) \sum_{s=1}^V P_{V-s} \sum_{i=s}^{\infty} \varphi_i;$$

нормирующее условие для определения P_0

$$\sum_{m=0}^V P_m = 1. \quad (2.9)$$

Обозначим величиной $P_{откZ=1}$ вероятность того, что получит отказ вызов телефонии, поступающий на обслуживание и требующий для своего обслуживания один свободный канал трафика ($z=1$). Величина $P_{откZ=1}$ будет равна вероятности того, что будут заняты все V каналов

$$P_{откZ=1} = P_V = (\lambda_{гр}/V\mu) \sum_{s=1}^V P_{V-s} \sum_{i=s}^{\infty} \varphi_i, \quad (2.10)$$

где величины P_{V-s} учитывают групповой характер заявок на обслуживание и определяются из системы уравнений (2.8) и условия нормировки (2.9).

Если для предоставления мультимедийной услуги требуется занятие z каналов трафика в радиointерфейсе и выполняется неравенство $z > 1$, то величина $P_{откZ}$ будет равна вероятности того, что будет занято более $(V-z)$ каналов

$$P_{откZ>1} = \sum_{s=0}^{z-1} P_{V-s}, \quad (2.11)$$

где значения P_{V-s} учитывают групповой характер заявок на обслуживание и определяются из системы уравнений (2.8) и условия нормировки (2.9);

величина z характеризует число каналов трафика, которое должно быть выделено для реализации данной мультимедийной услуги.

В установившемся процессе в каждый момент времени система содержит

$$\sum_{m=1}^V kP_m \text{ заявок на обслуживание.}$$

За каждую единицу времени обслуживаются в среднем

$$\mu \sum_{m=1}^V mP_m \text{ заявок на обслуживание.}$$

Поступают в систему массового обслуживания (на каналы радиointерфейса соты) за единицу времени в среднем $\lambda_{гр} \sum_{m=1}^{\infty} m\varphi_m$ заявок на обслуживание.

Отсюда следует, что вероятность того, что вызов телефонии получит отказ в обслуживании, может быть также определена как

$$P_{отк} = 1 - \frac{\sum_{m=1}^V mP_m}{\alpha_{гр} \sum_{m=1}^{\infty} m\varphi_m}, \quad (2.12)$$

где $\alpha_{гр} = \lambda_{гр}/\mu$ – интенсивность нагрузки, поступающей на пучок каналов V .

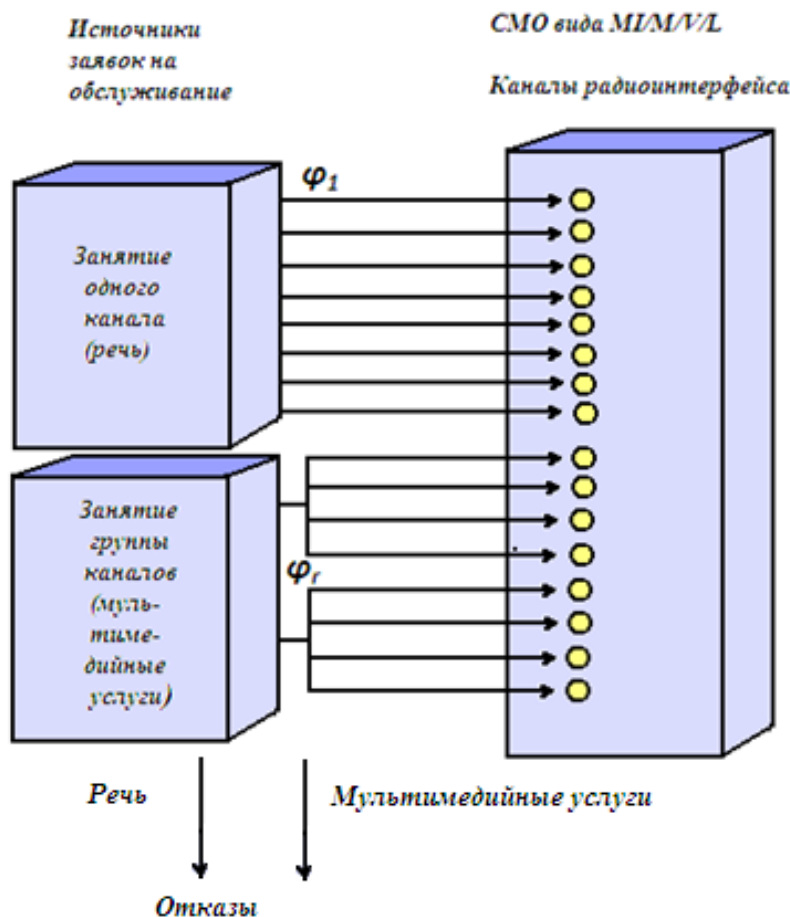


Рисунок 2.1 Математическая модель функционирования радиointерфейса базовой станции сети подвижной связи с учетом группового характера обслуживания мультимедийных вызовов

Преобразуем систему уравнений (2.8), используя величину $\alpha_{гр}$

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \alpha_{гр} P_0; & (2.13) \\
 P_{m+1} &= \{(\alpha_{гр} + m)/(m + 1)\} P_m - \{\alpha_{гр}/(m + 1)\} \sum_{i=1}^m \varphi_i P_{m-i}, m < V; \\
 &\dots\dots\dots \\
 P_V &= (\alpha_{гр}/V) \sum_{s=1}^V P_{V-s} \sum_{i=s}^{\infty} \varphi_i;
 \end{aligned}$$

нормирующее условие для определения P_0 запишем как $\sum_{m=0}^V P_m = 1$.

При расчете и анализе работы конкретных сетей мобильной связи уровня 2,5G и 3G должна учитываться степень проникновения услуг мультимедиа и потребность в предоставлении каналов трафика для реализации конкретных услуг. Используем математический аппарат теории массового обслуживания, разработанный для поступления групповых заявок на обслуживание. В совокупности каналов трафика в радиointерфейсе для реализации конкретной мультимедийной услуги будет выделяться фиксированное число каналов трафика для реализации требуемой скорости передачи. Задавая значения $\alpha_{гр}$ и V , и решая систему уравнений (2.13) на ЭВМ, можем получить систему значений $P_1, \dots, P_m, \dots, P_V$, а также вычислить вероятность отказа в обслуживании вызова $P_{отк}$. Система алгебраических уравнений (2.13) может быть значительно упрощена с учетом того, что в диапазоне значений $m = 1, \dots, \infty$, большая часть значений φ_r будет равна нулю. Отличительной особенностью системы уравнений (2.13) является возможность изменения интенсивности обслуживания μ и интенсивности нагрузки $\alpha_{гр}$ в зависимости от таких факторов, как повышение скоростей передачи и перераспределения значений вероятности φ_r , характеризующей наличие r заявок в группе, с учетом тенденции совершенствования конечных устройств пользователей и развития систем подвижной связи.

Решение системы уравнений (2.13) для широкого диапазона изменения числа каналов трафика в радиointерфейсе V , интенсивности поступления нагрузки $\alpha_{гр}$ и предполагаемого перераспределения вероятностей φ_1 и φ_r может быть получено путем разработки программы итерации на ЭВМ. Поиск решения предполагает выбор достаточно малой величины первоначального значения $P_{0нач}$, относительно которого производится расчет величин P_m в диапазоне значений $m=1, \dots, V$. Далее проверяется нормирующее условие – сумма вероятностей P_m должна равняться единице. Если нормирующее условие не выполняется, и результат суммирования отличается от единицы, то величина, $P_{0нач}$ изменяется на малую величину Δ . Цикл вычисления повторяется, выбор величин $P_{0нач}$ и Δ определяет продолжительность поиска решения системы уравнений. Выбор достаточно малых значений $P_{0нач}$ и Δ обеспечивает высокую

точность решений, увеличивая продолжительность поиска решений.

Выводы.

1. Для реализации мультимедийных услуг в сетях мобильной связи необходимо объединение нескольких канальных структур радиointерфейсов в сетях мобильной связи с временным или кодовым разделением каналов. Ресурс радиоканалов одной соты, управляемый базовой станцией, предлагается рассматривать как полнодоступную систему массового обслуживания, на вход которой поступает поток групп заявок на обслуживание (число заявок в группе случайное). Разработанная математическая модель функционирования радиointерфейса базовой станции сети подвижной связи позволяет учесть групповой характер обслуживания вызовов и произвести оценку влияния мультимедийных услуг на пропускную способность радиointерфейса базовой станции.

Анализ совокупности вероятностных параметров и характеристик для описания функционирования сетей подвижной связи показал, что для отражения точки зрения пользователя услугами сети подвижной связи на качество установления соединений перспективно использование совокупности характеристик теории телетрафика. В качестве основной характеристики установлена вероятность потерь вызовов, поступающих от мобильных абонентов. Дополнительная характеристика – вероятность потери вызова во время «эстафетной» передачи, то есть при передаче вызова на обслуживание в соседние соты. Кроме этих важнейших характеристик может использоваться ряд дополнительных характеристик: вероятность различных задержек в процессе установления соединения; вероятность того, что обслуживание абонента будет завершено в соте, относящейся к данной базовой станции.

3 Исследование влияния группового характера обслуживания вызовов на характеристики обслуживания радиointерфейсом базовой станции

3.1 Результаты расчета и оценка влияния группового характера обслуживания вызовов радиointерфейсом базовой станции

Используем математическую модель функционирования радиointерфейса базовой станции сети подвижной связи, учитывающую групповой характер обслуживания вызовов для расчета характеристик обслуживания вызовов в радиointерфейсе базовой станции стандарта GSM900. Рассмотрим вариант использования системы стандарта GSM900 уровня 2G, предусматривающий образование объединенных каналов трафика для повышения скорости передачи информации. Всего в системе стандарта GSM900 могут объединяться четыре канала трафика. При этом обеспечивается совокупная скорость передачи информации $13 \times 4 = 52$ кбит/с. Целью такого

объединения могут быть: передача данных фиксированного формата для реализации услуг мультимедиа; обеспечение передачи речевого сигнала повышенного качества.

Справедливы соотношения $\varphi_1 > \varphi_4$ $\varphi_1 + \varphi_4 = 1$.

Для рассматриваемого случая система уравнений (2.13) существенно упрощается, поскольку $\varphi_1 = 0$ при условии $i \neq 1, i \neq 4$, принимая вид

$$\begin{aligned}
 P_1 &= \alpha_{гр} P_0; & (3.1) \\
 P_2 &= \left\{ \frac{\alpha_{гр} + 1}{2} \right\} P_1 - \{ \alpha_{гр} / 2 [\varphi_1 P_0] \}; \\
 P_3 &= \left\{ \frac{\alpha_{гр} + 2}{3} \right\} P_2 - \{ \alpha_{гр} / 3 [\varphi_1 P_1] \}; \\
 P_4 &= \left\{ \frac{\alpha_{гр} + 3}{4} \right\} P_3 - \{ \alpha_{гр} / 4 [\varphi_1 P_2] \}; \\
 P_5 &= \left\{ \frac{\alpha_{гр} + 4}{5} \right\} P_4 - \{ \alpha_{гр} / 5 [\varphi_1 P_3 + \varphi_4 P_0] \}; \\
 P_{m+1} &= \{ (\alpha_{гр} + m) / (m + 1) \} P_m - \{ \alpha_{гр} / (m + 1) [\varphi_1 P_{m-1} + \varphi_4 P_{m-4}] \}, \\
 5 \leq m < V; \\
 \dots\dots\dots \\
 P_V &= (\alpha_{гр} / V) \{ P_{V-1} + \varphi_4 [P_{V-2} + P_{V-3} + P_{V-4}] \}.
 \end{aligned}$$

Общая вероятность отказа в обслуживании может быть определена после преобразования формулы (2.12) как

$$P_{отк} = 1 - \frac{\sum_{m=1}^V m P_m}{\alpha_{гр} (\varphi_1 + 4\varphi_4)}, \quad (3.2)$$

Для проведения исследований большее значение приобретают формулы (2.10) и (2.11), позволяющие оценить по отдельности вероятности потерь по вызовам телефонии групповой заявки, требующей занятия четырех каналов трафика. Обозначим величиной $P_{отк1}$ вероятность того, что получит отказ вызов телефонии, поступающий на обслуживание и требующий для своего обслуживания один свободный канал трафика ($z=1$). Величина $P_{отк1}$ равна вероятности того, что будут заняты все V каналов и после преобразования формулы (2.10) может определяться как

$$P_{отк1} = (\lambda_{гр} / V\mu) \{ P_{V-1} + \varphi_4 [P_{V-2} + P_{V-3} + P_{V-4}] \}. \quad (3.3)$$

Поскольку в рассматриваемом случае для предоставления мультимедийной услуги требуется занятие $z=4$ каналов трафика в радиointерфейсе и выполняется неравенство $z > 1$, то вероятность получения отказа в обслуживании для мультимедийной заявки составит $P_{отк4}$ и может быть определена после преобразования формулы (2.11) как

$$P_{\text{отк4}} = \sum_{s=0}^3 P_{V-s}. \quad (3.4)$$

Программа (см. рисунок 3.1), разработанная для решения системы уравнений (3.1) для стандарта GSM900 с использованием языка Borland Pascal 7.0 для случая использования объединенных каналов трафика, представлена Приложении А.

```

BEGIN
Pprom1:=0;
Pprom2:=0;
Pprom2:=0;
w51:write(' lambda:');
readln(lambda);
delta:=11.00000000E-15;
P[0]:=1.00000000E-9;
f1:=0.6;
f4:=0.4;
mu:=100*f1+8*f4;
mu:=360/mu;
alfa:=lambda/mu;
if alfa>0 then goto w50;
w3:sigma:=0;
for d:=1 to 0 do
P[d]:=0;
Nomer:=1;
w1:Pprom1:=0;
Pprom2:=0;
Pprom3:=0;

```

Рисунок 3.1 – Фрагмент программы расчета качества обслуживания радиointерфейсом базовой станции

Решения системы уравнений (3.1) для широкого диапазона изменения числа каналов трафика в радиointерфейсе V , интенсивности поступления нагрузки $\alpha_{\text{гр}}$ и предполагаемого перераспределения вероятностей φ_1 и φ_2 были получены путем разработки программы итерации на ЭВМ. Поиск решения предполагает выбор достаточно малой величины первоначального значения $P_{\text{нач}}$, относительно которого производится расчет величин P_m в диапазоне значений $m = 1, \dots, V$. Далее проверяется нормирующее условие $\sum_{m=0}^V P_m = 1$. Если нормирующее условие не выполняется, и результат суммирования отличается от единицы, то величина $P_{\text{нач}}$ изменяется на малую величину Δ . Цикл вычисления повторяется многократно, пока результат суммирования величин P_m в диапазоне значений $m = 1, \dots, V$ не приблизится к единице (расхождение должно быть достаточно малым, например – на $1 \cdot 10^{-4} \dots 1 \cdot 10^{-6}$). Выбор величин $P_{\text{нач}}$ и Δ определяет продолжительность поиска решения системы уравнений. Выбор достаточно малых значений $P_{\text{нач}}$ и Δ обеспечивает высокую точность решений, но увеличивает продолжительность поиска решений.

Особенностью систем стандарта GSM900 уровня 2G является широкий диапазон возможных изменений числа каналов трафика в радиointерфейсе базовой станции V . Результаты расчета системы уравнений (3.1) и расчета величин $P_{\text{отк1}}$ и $P_{\text{отк4}}$ по формулам (3.3) и (3.4), полученные с использованием разработанной программы на ЭВМ, представлены в таблице 3.1 и на рисунке

3.2.

При проведении расчетов учитывалось наличие двух потоков вызовов с интенсивностью λ_1 (требуется один канал трафика) и λ_4 (требуется четыре канала трафика). Суммарная интенсивность поступления требований на обслуживание определялась как $\lambda_\Sigma = \lambda_1 + \lambda_4$. Величина φ_1 может определяться как $\varphi_1 = \lambda_1/\lambda_\Sigma$, а величина φ_4 может определяться как $\varphi_4 = \lambda_4/\lambda_\Sigma$. Интенсивность обслуживания требований первого типа составляет $\mu_1 = t_1^{-1}$, t_1 – средняя продолжительность занятия канала трафика для обслуживания требования первого типа. При проведении расчетов принималось значение $t_1=100$ с, то есть величина μ_1 принималась равной $\mu_1=36$ [1/час]. Интенсивность обслуживания требований второго типа составляет $\mu_4 = t_4^{-1}$, где t_4 – средняя продолжительность занятия одного канала трафика для обслуживания требования второго типа. При проведении расчетов принималось значение $t_4=8$ с, то есть величина μ_4 принималась равной $\mu_4=450$ [1/час]. Для оценки усредненного значения μ использовалась формула

$$\mu = t^{-1} = (\varphi_1 t_1 + \varphi_4 t_4)^{-1}. \quad (3.5)$$

Следует отметить, что предположение об экспоненциальном характере распределения продолжительности занятия каналов трафика при обслуживании вызовов сохраняет свою силу, поскольку имеет место соотношение $t_4 \ll t_1$.

Для определения интенсивности нагрузки при поступлении групп требований на обслуживание $\alpha_{гр}$ использовалась формула

$$\alpha_{гр} = \lambda_\Sigma / \mu = (\lambda_1 + \lambda_4)(\varphi_1 t_1 + \varphi_4 t_4). \quad (3.6)$$

Подставив значения $\varphi_1 = \lambda_1/\lambda_\Sigma$ и $\varphi_4 = \lambda_4/\lambda_\Sigma$, получим

$$\alpha_{гр} = \{(\lambda_1 + \lambda_4)(\lambda_1 t_1 + \lambda_4 t_4)\} / \lambda_\Sigma. \quad (3.7)$$

При проведении расчетов фиксировалась величина λ_Σ , и задавались значения φ_1 в диапазоне $\varphi_1=0,05\dots0,95$. Далее проводился расчет усредненной интенсивности обслуживания μ и интенсивности нагрузки $\alpha_{гр}$.

Анализ результаты расчета вероятности потерь по вызовам, выполненного путем решения системы уравнений с привлечением ЭВМ и учитывающего возможность объединения нескольких каналов трафика для образования высокоскоростного информационного потока, показал следующее:

использование режима группового занятия каналов в радиointерфейсе базовой станции для обслуживания вызовов существенно влияет на вероятность потерь по вызовам, резкий рост которой происходит, если доля групповых заявок на обслуживание увеличивается от нуля до 10-15%;

дальнейший рост доли групповых заявок мало влияет вероятность потерь по вызовам, которая становится недопустимо высокой и составляет несколько процентов или десятки процентов (в зависимости от интенсивности поступающего потока вызовов);

результаты контрольных расчетов по первой формуле Эрланга являются неоправданно оптимистическими, они показывают практически полное отсутствие потерь по вызовам в радиointерфейсе, в то время как расчет с учетом группового характера обслуживания заявок показывает наличие недопустимо высоких потерь порядка десятков процентов;

увеличение доли вызовов группового занятия каналов φ_4 и снижение интенсивности обслуживания вызовов приводит к практически линейному снижению интенсивности нагрузки на радиointерфейс $\alpha_{гр}$, однако влияние такого снижения на вероятность потерь по вызовам наблюдается только при значениях $\varphi_4 > 0,35$;

вероятности потерь по вызовам, требующим занятия одного канала $P_{отк1}$ или группы из четырех каналов $P_{отк4}$, имеют соотношение $P_{отк4} / P_{отк1} = 4$, из чего можно сделать вывод, что именно мультимедийные приложения, требующие для обслуживания выделения группы радиоканалов являются наиболее уязвимыми и зависимыми от общего числа каналов трафика, интенсивности поступающего потока заявок. В определенной мере последний вывод косвенно подтверждается неудачным опытом эксплуатации ряда сетей стандарта 3G в Западной Европе;

для проведения оценки допустимой интенсивности потока поступающих вызовов с учетом допустимой вероятности потерь по вызовам в системах подвижной связи стандарта GSM900, допускающих объединение четырех каналов трафика, следует проводить расчет для наихудших условий, а именно для $\varphi_4 = 0,35$.

Т а б л и ц а 3.1 Результаты решения системы уравнений для радиointерфейса базовой станции стандарта GSM900 емкостью $V = 48$ каналов трафика при поступлении смешанного потока вызовов: с вероятностью φ_1 поступают заявки на занятие одного канала трафика и с вероятностью φ_4 поступают заявки на занятие четырех каналов трафика

φ_1	φ_4	$\mu, [1/\text{час}]$	$\alpha_{гр}, \text{Эрл}$	$E_V[\alpha_{гр}]$	$P_{отк1}$	$P_{отк4}$
$\lambda_{\Sigma} = 1700$ вызовов в час, $t_1 = 100\text{с}$, $t_4 = 8\text{с}$						
0,95	0,05	37,74	45,05	0,0744	0,171	0,636
0,9	0,1	39,65	42,87	0,053	0,208	0,735

0,85	0,15	41,76	40,7	0,0349	0,237	0,805
0,8	0,2	44,12	38,53	0,0208	0,259	0,85
0,75	0,25	46,75	36,36	0,0109	0,272	0,876
0,7	0,3	49,72	34,2	0,0049	0,279	0,884
0,65	0,35	53,1	32,01	0,0018	0,278	0,875
0,6	0,4	56,96	29,84	0,0005	0,258	0,852

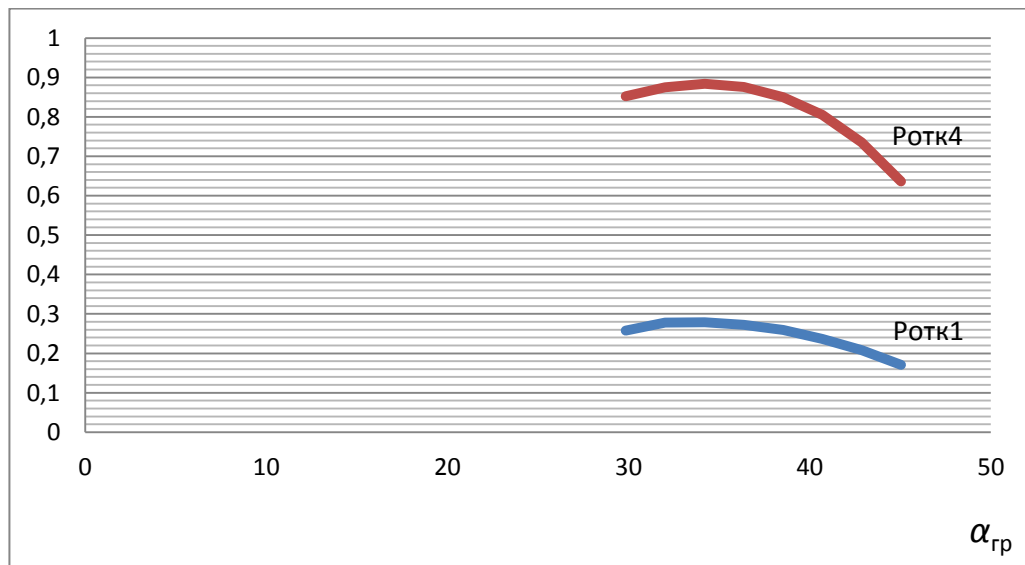


Рисунок 3.2 – Результаты решения системы уравнений для полнодоступного пучка каналов емкостью $V=48$ каналов, вероятности поступления одиночного и группового вызовов $\phi1+\phi4=1$.

По оси x – интенсивность нагрузки, поступающей на пучок каналов; по оси y – вероятность отказа в обслуживании.

Из рисунка 3.2 видно, что объединение нескольких каналов в единый цифровой поток, выполняемое с целью снижения общего времени передачи информации, существенно повышает вероятность отказов в обслуживании групповой заявки. Результаты использования объединенных каналов трафика в системе стандарта GSM 900 уровня 2G, показало, что вероятность потерь по вызовам, требующим занятия группы из четырех каналов $P_{отк4}$, и вероятность потерь по вызовам, требующим занятия одного канала $P_{отк1}$, уменьшаются при увеличении интенсивности общего потока вызовов $\alpha_{гр}$.

Заключение

В ходе исследований был проведен анализ развития сетей подвижной связи общего пользования на стадии реализации концепции NGN, а именно сетей мобильной связи; также анализ функциональных архитектур NGN и IMS; анализ параметров качества обслуживания.

Заметной особенностью мультимедийных услуг vNGN является потребность в высокой скорости передачи данных, для реализации которой предусматривается объединение нескольких каналов связи. В соответствии с классификацией Башарина-Кендалла совокупность каналов трафика радиointерфейса базовой станции в сетях мобильной связи была рассмотрена как СМО вида M1/M/V/L, на вход которой может поступать поток из групп заявок на обслуживание со случайным числом заявок в самой группе. Разработанная математическая модель функционирования радиointерфейса базовой станции сети мобильной связи позволяет учесть степень проникновения мультимедийных услуг и потребность в предоставлении каналов трафика для реализации конкретных услуг. Расчет характеристик обслуживания вызовов в радиointерфейсе базовой станции системы стандарта GSM был выполнен путем решения системы уравнений при помощи ЭВМ. Установлено, что объединение каналов в единый цифровой поток с целью снизить время передачи данных, существенно повышает вероятность отказов в обслуживании групповой заявки.

Проведенные исследования показали, что раздельное использование возможностей каналов радиointерфейса может быть положительным, начиная с небольшой доли заявок на групповое обслуживание.

Список литературы

- 1 Андреев Д.В., Тарасов Д.В., Кучерявый А.Е.. Модельные сети для тестирования технических средств сетей связи следующего поколения. Рекомендация Q.3900. Электросвязь, №12, 2007.
- 2 Афанасьев В.В., Демчишин В.И. Основные тенденции и игроки на рынке NGN-инфраструктуры. Обзор NGN-концепций и продуктовой линейки NGN для сетей СПС от ведущих производителей телекоммуникационного оборудования //Технология и средства связи.- 2006
- 3 Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации. – М.: Эко-Трендз, 2008.
- 4 Башарин Г.П., Харкевич А.Д., Шнепс М.А. Массовое обслуживание в телефонии. - М.: Наука, 1968.
- 5 Гольдштейн А.Б., Гольдштейн Б.С. SOFTSWITCH СПб.: БХВ – Санкт-Петербург, 2006.
- 6 Гольдштейн Б.С. Сигнализация в сетях связи. Том 1. М.: Радио и связь, 2002.
- 7 Гольдштейн Б.С., Зарубин А.А., Саморезов В.В. Протокол SIP. Справочник// СПб.: БХВ-Петербург, 2005.
- 8 Гольдштейн Б.С., Соколов Н.А., Яновский Г.Г. Сети связи. Учебник для ВУЗов. СПб.: БХВ – Петербург, 2010.
- 9 Ионин Г.Л., Седол Я.Я. Статистическое моделирование систем телетрафика: - М.: Радио и связь, 1982.
- 10 Карлашев Е.Н., Барабанщикова С.В. Широкополосный беспроводный доступ // Вестник связи.-2004.-№ 4.
- 11 Корнышев Ю. Н., Пшеничников А.П., Харкевич А.Д. Теория телетрафика – М.: Радио и связь, 1996.
- 12 Кондратов А.Г., Степанов Б.Л. Обоснование перспективности раздельного использования ресурсов каналов трафика базовых станции сотовой связи - Правовая информатика; выпуск 11. — М.: ФГУ НЦПИ при Минюсте России: - 2008.
- 13 Крылов В. В., Самохвалова С.С. Теория телетрафика и ее приложения. – Санкт- Петербург, 2005.
- 14 Кудин А.В., Максименко В.Н. Оценка качества услуг пакетной передачи данных в сетях сотовой подвижной связи // Мобильные системы. - 2003/- №7.
- 15 Кучерявый А.Е., Гильченко Л.З., Иванов А.Ю.. Пакетная сеть связи общего пользования. «Наука и техника», С.-Петербург, 2004.
- 16 Невдяев Л.М. CDMA: управление мощностью // Сети. - 2000. - №4.
- 17 Новиков О.А., Петухов С.И. Прикладные вопросы теории массового обслуживания. - М.: Советское радио, 1969.
- 18 Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети: Принципы, технологии, протоколы. 3-е изд. – СПб.: Питер, 2008.

19 Описание системы D900/D1800. GSMPLMN. – Техническая информация фирмы Siemens, 2005.

20 Стандарт организаций. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию работ учебных СТ НАО 56023-1910-01-2009.

21 Степанова И.В. Проектирование сетей мобильной связи // Труды, МТУСИ: Сборник статей. – М.: -2004.

22 Тарасов Д.В., Парамонов А.И., Кучерявый А.Е.. Система мониторинга NGN и мониторинг значений параметра Херста. 64-я Научно-техническая конференция, посвященная Дню Радио. Труды конференции. Апрель 2009г. С-Петербург, издательство СПб ГЭТУ «ЛЭТИ».

23 Тихвинский В.О., Володина, Е.Е. Параметры качества услуг передачи мультимедийных сообщений// Мобильные системы. - 2004 . - №5.

24 Яновский Г.Г. IP Multimedia Subsystem: принципы, стандарты и архитектура // Вестник связи. – 2006. – № 3.

25 Ян Элдстал, Андерс Нэман. Испытательная система WCDMA для тестирования технологии радиодоступа систем 3-го поколения // Mobile communications-international. – 2000. №3.

26 ETSI TS 102250-2.Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation.

27 К.О. Lee. Reference Model of Broadband convergence Network in Korea. Yoint ZNIIS-ETRI Seminar. ETRI, Korea, 18 January, 2008.

28 Recommendation Y.1541. Network performance objectives for IP-based services. ITU, 2006.

Приложение А

Программа расчета качества обслуживания вызовов в радиointерфейсе базовой станции системы стандарта GSM900, учитывающая возможность объединения нескольких каналов трафика для целей передачи данных.

```
label
w1,w2,w3,w4,w5,w6,w7,w8,w9,w10,w11,w12,w13,w14,w15,w16,w17,w18,w19,w2
0,w30,w31,w50,w51,finish;
const
V=47;{radio lines}
var
alfa,delta,sigma,lambda,mu,summa,summapr,Pprom11,Pprom12,Pprom13,fi1,fi4,X,
Nomer,Potk1,Potk4,s:extended;
type
index=0..48;
var
P:array[index] of extended;
d:index;
BEGIN
Pprom11:=0;
Pprom12:=0;
Pprom12:=0;
w51:write('lambda:');
readln(lambda);
delta:=11.00000000E-15;
P[0]:=1.00000000E-9;
fi1:=0.6;
fi4:=0.4;
mu:=100*fi1+8*fi4;
mu:=3600/mu;
alfa:=lambda/mu;
if alfa>V then goto w50;
w3:sigma:=0;
for d:=1 to V do
P[d]:=0;
Nomer:=1;
w1:Pprom11:=0;
Pprom12:=0;
Pprom13:=0;
P[1]:=alfa*P[0];
Pprom11:=(alfa+1)/2;
Pprom11:=Pprom11*P[1];
```

```

Pprom12:=(alfa/2)*P[0];
P[2]:=Pprom11-Pprom12;
Pprom11:=(alfa+2)/3;
Pprom11:=Pprom11*P[2];
Pprom12:=(alfa/3)*P[1];
P[3]:=Pprom11-Pprom12;
Pprom11:=(alfa+3)/4;
Pprom11:=Pprom11*P[3];
Pprom12:=(alfa/4)*P[2];
P[4]:=Pprom11-Pprom12;
Pprom11:=(alfa+4)/5;
PProm11:=Pprom11*P[4];
Pprom13:=fi1*P[3]+fi4*P[0];
Pprom12:=(alfa/5)*Pprom13;
P[5]:=Pprom11-Pprom12;
d:=6;
w31:Pprom11:=(alfa+d-1)/d;
d:=d-1;
Pprom11:=P[d]*Pprom11;
d:=d-1;
Pprom13:=fi1*P[d];
d:=d-3;
Pprom13:=Pprom13+(fi4*P[d]);
d:=d+5;
Pprom12:=alfa/d;
Pprom12:=Pprom12*Pprom13;
P[d]:=Pprom11-Pprom12;
d:=d+1;
if d=V then goto w30;
goto w31;
w30:d:=V-1;
Pprom11:=P[d];
d:=V-1;
Pprom12:=P[d];
d:=V-1;
Pprom12:=Pprom12+P[d];
d:=V-1;
PProm12:=Pprom12+P[d];
Pprom12:=fi4*Pprom12;
Pprom11:=Pprom12+Pprom11;
Pprom11:=Pprom11*(alfa/V);
d:=V;
P[d]:=Pprom11;
begin

```

```

summapr:=0;
summa:=P[0];
d:=1;
w11:summapr:=P[d];
summa:=summa+summapr;
if d=V then goto w10;
d:=d+1;
if d<V then goto w11;
end;
w10:sigma:=summa-1;
if sigma<0 then goto finish;
Nomer:=Nomer+1;
P[0]:=P[0]-delta;
for d:=1 to V do
P[d]:=0;
goto w1;
w2:writeln('change delta or P[0]');
write('delta:');
readln(delta);
write('P[0]:');
readln(P[0]);
goto w3;
finish:
Pprom11:=0;
Pprom12:=0;
Pprom13:=0;
d:=1;
w12:Pprom12:=d*P[d];
Pprom11:=Pprom11+Pprom12;
if d=V then goto w14;
d:=d+1;
goto w12;
w50:writeln('alfa=',alfa); writeln('V=',V); write('Push<ENTER>');
readln;
goto w51;
w14:Potk1:=P[V];
d:=V-1;
Pprom11:=P[d];
d:=V-1;
Pprom12:=P[d];
d:=V-1;
Pprom13:=P[d];
Potk4:=Pprom11+Pprom12+Pprom13+P[V];
writeln('P[0]=' ,P[0]); writeln('P[1]=' ,P[1]); writeln('Nomer=' ,Nomer);

```

```
writeln('P[V]=' $P[V]$ ); writeln('Lambda=' $\Lambda$ ); writeln('alfa=' $\alpha$ );  
writeln('V=' $V$ ); writeln('mu=' $\mu$ );  
writeln('fi1=' $f_1$ ); writeln('fi4=' $f_4$ );  
writeln('Potk1=' $P_{otk1}$ ); writeln('Potk4=' $P_{otk4}$ );  
writeln('summa=' $\Sigma$ );  
write('Push <ENTER>');  
readln;  
    end.
```