


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 
(Ф.И.О.) подпись

«24» 01 2014г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Тема Исследование моделей и методов
процессов функционирования сетей NGN

Магистрант Каир Даурбеков Т.Б.
подпись (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации Бай к.т.н., проф. Байкенов А.С.
подпись (Ф.И.О.)

Рецензент Абдухот к.т.н., проф. Жумаханова Е.Ж.
подпись (Ф.И.О.)

Консультант по ВТ Журман к.т.н., проф. Чежимбаева К.Х.
подпись (Ф.И.О.)

Нормоконтроль Абду ст. препод. Абдуов Н.А.
подпись (Ф.И.О.)

Алматы 2014г.

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Факультет Радиотехники и связи
Специальность: Радиотехника, электроника и телекоммуникации
Кафедра Автоматическая электросвязь

ЗАДАНИЕ

на выполнение магистерской диссертации

Магистранту Даурбекову Тимурлану Балмбековичу
(фамилия, имя, отчество)

Тема диссертации Исследование моделей и методов
проектирования функционирования сетей NGN
утверждена Ученым советом университета № 108 от «16» 11. 2012г.

Срок сдачи законченной диссертации «24» 01. 2014г.

Цель исследования повышение эффективности проектирования
функционирования, проектирование и развитие сетей
следующего поколения за счет
разработки моделей и методов, обеспечивающих расчет
показателей качества обслуживания (по приоритетам,
качественным по классам качества, видам услуг).

Перечень подлежащих разработке в магистерской диссертации вопросов или краткое содержание магистерской диссертации:

Анализ, сравнение и модернизация моделей
и методов функционирования сетей
следующего поколения NGN

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей) 1.1 - Архитектура NGN

1.2 - Softswitch в составе системы электросвязи

1.3 - Конфигурация транспортного уровня сети NGN

1.4 - Построение транспортного уровня мультисервисной сети
подлежающей трагитную структуру ТЭОП

1.6 - Вертикальные сервисные платформы

1.7 - Горизонтальные сервисные платформы

1.8 - Общий план перехода к FMC на базе All IP

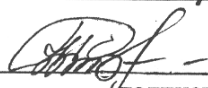
Рекомендуемая основная литература


Назаров А.Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров NGN сетей / А.Н. Назаров - М.: Горькая книга - Телеком 2002.

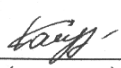
ГРАФИК
подготовки магистерской диссертации

| Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов | Сроки представления научному руководителю | Примечание |
|--|---|------------|
| 1 Выбор предмета исследования. Общие принципы построения NGN | 01.10.2012 - 10.01.2013 | Выполнено |
| 2 Анализ телекоммуникационного трафика и постановка задач | 11.01.2013 - 01.03.2013 | Выполнено |
| 3 Аналитический метод моделирования узла коммутации | 02.03.2013 - 15.04.2013 | Выполнено |
| 4 Моделирование самоподобного трафика | 16.04.2013 - 01.09.2013 | Выполнено |
| 5 Сравнение полученных результатов | 02.09.2013 - 01.12.2013 | Выполнено |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Дата выдачи задания 10 сентября 2012г.

Заведующий кафедрой  (Кенжибаева К. С.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Руководитель диссертации  (Байкенов А. С.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Задание принял к исполнению магистрант  (Дауренбаев Т. Б.)
(подпись) (Ф.И.О.)

Андатпа

Бұл жұмыс NGN келесі ұрпақ желесінің қызмет көрсету мәселесіне арналған. NGN желісінің аналитикалық және имитациялық моделдері зерттелді. Кідірістің, шығынның және өткізу қабілетінің мәнін анықтау мақсатында желі жұмысының аналитикалық және имитациялық моделдері көрсетілген. Аналитикалық және имитациялық моделдеудің нәтижелері салыстырылды.

Аннотация

Работа посвящена проблеме функционирования сети следующего поколения NGN. Было проведено исследование аналитический и имитационных моделей узла сети NGN. Представлены аналитическая и имитационная модели работы узла с целью определения значений задержки, потери и пропускной способности. Проведено сравнение результатов аналитического и имитационного моделирования.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 6 |
| 1. Выбор предмета исследования..... | 9 |
| 1.1 Общие принципы построение NGN..... | 9 |
| 1.2 Коммутатор Softswitch..... | 11 |
| 1.3. Стратегии внедрения технологий NGN при развитии сети ТфОП..... | 15 |
| 1.4 Протоколы в NGN..... | 19 |
| 1.5 Модель IMS..... | 23 |
| 2 Анализ телекоммуникационного трафика и постановка задачи..... | 27 |
| 2.1 Самоподобность в сетевом трафике..... | 27 |
| 2.2 Сравнительный анализ телекоммуникационных трафиков..... | 30 |
| 3 Аналитический метод моделирования узла коммутации..... | 38 |
| 3.1 Метод моделирования процессов функционирования узлов коммутации сетей связи следующего поколения при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов)..... | 38 |
| 3.2 Исследование процессов функционирования узлов коммутации сетей связи следующего поколения при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов)..... | 47 |
| 3.3 Модель узлов коммутации типа $M_r/M/V/K$ с относительными приоритетами и учётом реальной надёжности обслуживающих приборов..... | 51 |

| | |
|--|-----------|
| 4 Имитационное моделирование..... | 58 |
| 4.1 Моделирование самоподобного трафика..... | 65 |
| Заключение..... | 69 |
| Список литературы..... | 74 |
| Список сокращений..... | 79 |
| Приложение А..... | 80 |
| Приложение Б..... | 82 |

Введение

Актуальность проблемы. Развитие научно-технического прогресса на рубеже XX-XXI веков определяет переход от индустриального к информационному обществу, в процесс создания которого включена и РК. При этом показательным фактором формирования информационного общества РК является то, что за 1999-2014 годы темпы экономического роста отрасли инфокоммуникаций, объединяющей отрасль связи и сектор информационных технологий, в 4 раза превысили темпы роста национальной экономики.

Существуют частные модели и методы исследования процессов функционирования, оптимизации построения (синтеза), проектирования мультисервисных сетей связи (в том числе на основе концепции NGN), разработанные в трудах Семёнова Ю.В., Кучерявого А.Е., Назарова А.Н., Соколова Н.А., Вишневого В.М., Ершова В.А., Кузнецова Н.А., Лагутина В.С., Степанова С.Н. Данные решения основываются на:

- общие методы исследования и оптимизации построения сетей связи, разработанные в трудах Филипса Д., Гарсиа-Диаса А., Захарова Г.П., Шварца М., Мартина Дж., Терентьева В.М., Яновского Г.Г., Герасимова А.И., Мизина И.А., Богатырева В.А., Давыдова Г.Б., Рогинского В.Н., Харкевича А.Д. [34-43, 65];

- методы обеспечения устойчивости (надёжности, живучести) сетей, разработанные в трудах Богатырёва В.А., Филина Б.П., Дудника Б.Я., Нетеса В.А., Стекольниковой Ю.И.;

- классическую теорию очередей.

Вместе с тем данные модели и методы не в полной мере учитывают разнородность передаваемой информации (предоставляемых услуг) и, соответственно, многокомпонентность и пачечную природу трафика мультисервисных сетей, исследование процессов обслуживания которого возможно на основе применения:

- специальных приложений классической теории очередей в области приоритетных систем, в том числе с ограничениями ресурсов и учётом реальной надёжности обслуживаемых приборов, разработанных Клейнроком Л., Башариным Г.П., Бронштейном О.И., Духовным И.М., Гнеденко Б.В., Даниэляном Э.А., Кокотушкиным В.А., Михалевым Д.Г.;

- результатов теории фрактальных (самоподобных) процессов в области телекоммуникаций, полученных зарубежными: Leland W., Taqqu M., Willinger W., Wilson D., Norros I., Столлингс В. и отечественными: Нейман М.Н., Цыбаков Б.С., Шелухин О.И., Тенякшев А.М., Осин А.В., Ершов В.А., Заборовский В.С., Петров М.Н., Симонина О.А. авторами.

Вместе с тем на текущий момент не существует обобщённого метода исследования, обеспечивающего анализ эффективности функционирования сетей связи следующего поколения, а также их синтез по критериям затрат, качества обслуживания, устойчивости. При этом непрерывное

совершенствование сетевых технологий, этапность жизненного цикла телекоммуникационных сетей и многообразие вариантов построения их структур, необходимость согласования противоречивых интересов операторов связи и поставщиков услуг порождает широкий спектр задач, которые необходимо решить при проектировании (расчёте основных параметров) сетей связи следующего поколения и её элементов.

Всё это подчеркивает актуальность темы диссертации и позволяет сформулировать научную проблему, а также определить цель, объект, предмет и задачи исследований.

В соответствии с этим диссертация направлена на решение крупной *научной проблемы*, имеющей важное хозяйственное значение и предполагающей разработку моделей и методов исследования процессов функционирования и оптимизации построения сетей связи следующего поколения по критериям затрат, устойчивости и качества обслуживания (по классам качества).

Цель исследования заключается в повышении эффективности процессов функционирования, проектирования и развития сетей связи следующего поколения за счёт разработки моделей и методов, обеспечивающих:

- расчёт показателей качества функционирования узлов коммутации, управление его ресурсами в условиях практической эксплуатации;
- синтез сетей связи следующего поколения по критериям затрат, устойчивости, качества обслуживания (по приоритетам, назначаемым по классам качества (видам) услуг, категориям пользователей, подсистемам и определяемым задержками и потерями пакетов).

Объектом исследования являются построение и процессы функционирования сетей связи следующего поколения.

Предметом исследования является разработка моделей и методов исследования процессов функционирования узлов коммутации и оптимизации построения (синтеза) сетей связи следующего поколения, а также применение разработанных моделей и методов для автоматизированного решения широкого класса прикладных задач проектирования сетей связи следующего поколения.

Для достижения поставленной цели исследований в диссертации решены следующие *научные задачи*:

- проведён анализ основных направлений развития сетей фиксированной связи, архитектуры и телекоммуникационных технологий для построения сетей NGN;
- разработан метод синтеза сетей связи следующего поколения на основе векторного критерия и его составные элементы;
- метод синтеза сетевых структур при обеспечении требований устойчивости;
- метод моделирования процессов функционирования узлов коммутации (УК) сетей связи следующего поколения (шлюзов, гибких коммутаторов, маршрутизаторов транспортной сети, узлов управления

услугами) при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов);

- метод моделирования процессов функционирования узлов коммутации сетей NGN при обслуживании асимптотически и строго самоподобного трафика с учётом классов качества (приоритетов);

Основные положения, выносимые на защиту. Разработанные в диссертации теоретические положения по исследованию процессов функционирования и оптимизации построения (синтезу) сетей связи следующего поколения содержат следующие новые научно-обоснованные результаты, которые выносятся на защиту:

1. Метод синтеза сетей связи следующего поколения на основе векторного критерия.

2. Метод синтеза сетевых структур при обеспечении требований устойчивости.

3. Метод моделирования процессов функционирования узлов коммутации сетей связи следующего поколения при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов).

4. Метод моделирования процессов функционирования узлов коммутации сетей связи следующего поколения при обслуживании асимптотически и строго самоподобного трафика с учётом классов качества.

Научная новизна исследований заключается в том, что разработаны:

1 Метод моделирования узлов коммутации NGN, обеспечивающий исследование процессов их функционирования при простейших и произвольных потоках, коммутации пакетов фиксированной и показательной (произвольной) длины, ограниченной очереди, управлении качеством обслуживания на основе относительных приоритетов и резервирования ресурсов (по видам услуг, категориям пользователей и подсистемам), учёте реальной надёжности обслуживающих приборов.

2 Метод моделирования узлов коммутации NGN, обеспечивающий исследование процессов их функционирования при асимптотически и строго самоподобных потоках, коммутации пакетов фиксированной и показательной (произвольной) длины, ограниченной очереди, управлении качеством обслуживания на основе относительных приоритетов (по видам услуг, категориям пользователей и подсистемам).

Теоретическая значимость исследований заключается в разработке новых методов исследования, моделирования и многокритериального проектирования сетей связи следующего поколения, обеспечивающих учёт специфики их функционирования (распределённая архитектура построения, передача разнородной информации, ограниченность сетевых ресурсов, необходимость обеспечения устойчивости).

1 Выбор предмета исследования

1.1 Общие принципы построение NGN

Согласно рекомендации ITU-T Y.2001, «Сети следующих поколений структура и функциональные модели архитектуры», сеть последующих поколений определяется, как «сеть с коммутацией пакетов, способную предоставлять услуги электросвязи и использовать несколько широкополосных технологий транспортировки с гарантированным QoS [2]. В этой сети возможность предоставления услуг не зависит от используемых технологий. Она обеспечивает свободный доступ пользователей к конкурирующим сетям и поставщикам услуг, поддерживает универсальную подвижность, которая обеспечивает постоянное и повсеместное предоставление услуг пользователям».

Сети следующего поколения (NGN – next generation network) представляют собой результат эволюции всей системы электросвязи. Тем не менее, основной реализацией идеи NGN служит телефонная сеть, единственная из всех существующих сетей, которая:

- обеспечивает диалоговые услуги самой большой группе абонентов;
- приносит Оператору основные доходы.

Для сети NGN характерны существенные особенности, выделяющие ее в новый класс телекоммуникационных систем. Обычно выделяют пять таких особенностей NGN:

- использование пакетных технологий передачи и коммутации для обмена всеми видами информации;
- применение систем коммутации с распределенной архитектурой, которые отличаются от функционально ориентированных телефонных станций;
- отделение функций, которые касаются поддержки услуг от коммутации и передачи;
- обеспечение возможности широкополосного доступа и

мультисервисного обслуживания трафика вида “triple-play services” (речь, данные и видео);

– реализация функций эксплуатационного управления (в том числе и тех, что делегированы пользователем) за счет Web технологии.

Передача информации в форме пакетов через NGN существенно отличается от принципов, по которым создана сеть Интернет. В первую очередь, следует выделить поддержку в сети NGN заранее заданных показателей качества обслуживания (QoS – quality of service). Эти показатели стали определяться для обеспечения качественной телефонной связи через IP сеть – услуг VoIP (Voice over IP), более известных как IP-телефония [1].

На рисунке 1.1 показана архитектура NGN, предложенная компанией Lucent Technologies, объясняющая концепцию NGN. Эта архитектура немного отличается от аналогичных моделей используемых в сетях телефонной связи и обмена данными.

Уровень услуг выделяется в самостоятельный элемент архитектуры сети. Он занимает верхнюю плоскость в рассматриваемой модели. Данный уровень содержит функции управления логикой услуг и приложений и представляет собой распределенную вычислительную среду, обеспечивающую:

- предоставление инфокоммуникационных услуг;
- управление услугами;
- создание и внедрение новых услуг;
- взаимодействие различных услуг.

В какой-то мере, выделение самостоятельного уровня услуг подобно решению, которое предложено в концепции интеллектуальной сети. К этому уровню относятся такие устройства как медиасерверы.

Уровень управления располагается во второй плоскости. В модели NGN этот уровень включает совокупность функций по управлению всеми процессами в телекоммуникационной системе, а также начисление платы за услуги связи и техническую эксплуатацию. Для реализации функций, которые выполняет этот уровень, производители телекоммуникационного оборудования разработали аппаратно-программные средства, называемые Softswitch.

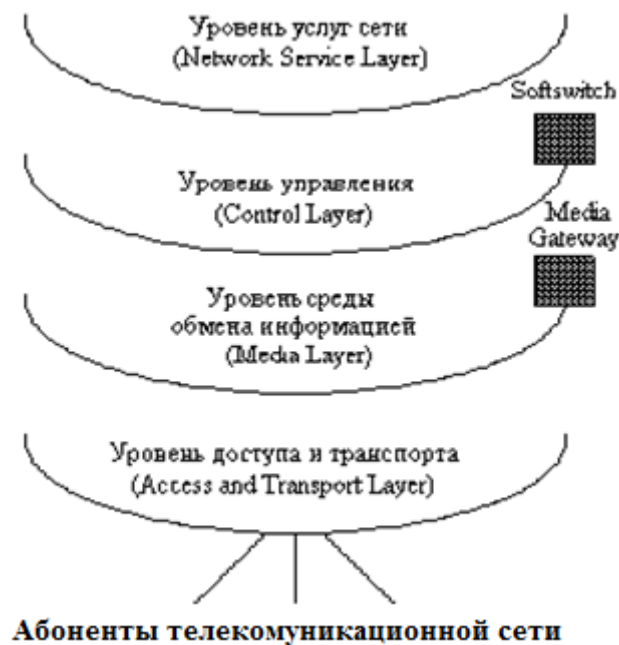


Рисунок 1.1 – Архитектура NGN, предложенная компанией Lucent Technologies

Уровень среды обмена информацией находится на третьей плоскости. Функции, выполняемые этим уровнем, включают процедуры установления соединений между пользователями сети и межсетевое взаимодействие. Типичным примером оборудования, которое реализует эти функции в сети NGN, являются такие устройства как контроллер медиашлюзов MGC, сервер управления обслуживанием вызова Call Agent, привратник Gatekeeper и LDAP-сервер.

Уровень доступа и транспорта располагается на четвертой плоскости. Основные функции этого уровня – перенос информации между конечными пользователями сети NGN. В качестве средств доступа в концепции сети NGN рассматриваются практически все используемые в настоящее время варианты, основанные на различных технологиях. К этому уровню относятся такие устройства, как коммутаторы, маршрутизаторы, средства обеспечения качества обслуживания QoS, шлюзы сигнализации, транспортные шлюзы (медиашлюзы), а также шлюзов для мобильной сети радиодоступа стандарта GSM/3G [25]

1.2 Коммутатор Softswitch

Коммутатор Softswitch – один из основных элементов NGN. В настоящее время ещё нет ни общепринятого перевода термина “Softswitch” (в российской и зарубежной литературе можно найти такие варианты: программный, гибкий, интеллектуальный коммутатор и иные определения), ни точного перечня функций, которые выполняют соответствующие аппаратно-программные средства [2]

Некоторая неясность в перечне тех функций, которые выполняет коммутатор Softswitch, объясняется тем, что концепция NGN еще не полностью сформировалась. В процессе развития телефонии также существовали различные мнения о делении функций между коммутационными станциями и другими видами оборудования (узлами спецслужб, центрами технической эксплуатации, центрами по работе с абонентами и другими). Более того, в процессе цифровизации ТфОП функции аналого-цифрового преобразования перешли из систем передачи в абонентские комплекты коммутационных станций.

Различие в принципах построения сетей с коммутацией каналов и пакетов как и одноименных технологий – не позволяет провести простую аналогию между коммутатором Softswitch и оборудованием распределения информации, которое используется в ТфОП. Это объясняется тем, что в коммутаторах Softswitch часто используется комплекс функций, которые в ТфОП распределены между коммутационными станциями, узлами Интеллектуальной сети, средствами обработки сигнальной информации, устройствами управления сетью электросвязи и другими элементами системы. С функциональной точки зрения коммутатор Softswitch можно рассматривать как аппаратно-программные средства для управления вызовами в тех телекоммуникационных сетях, которые используют технологии IP и/или ATM [5].

Многие Операторы уже используют аппаратно-программные средства, входящие также в состав классического коммутатора Softswitch. Для таких Операторов большое практическое значение имеет распределенное (или модульное) оборудование Softswitch, которое позволяет экономично создавать

и развивать IP сеть, приобретая только, отсутствующие аппаратно-программные средства.

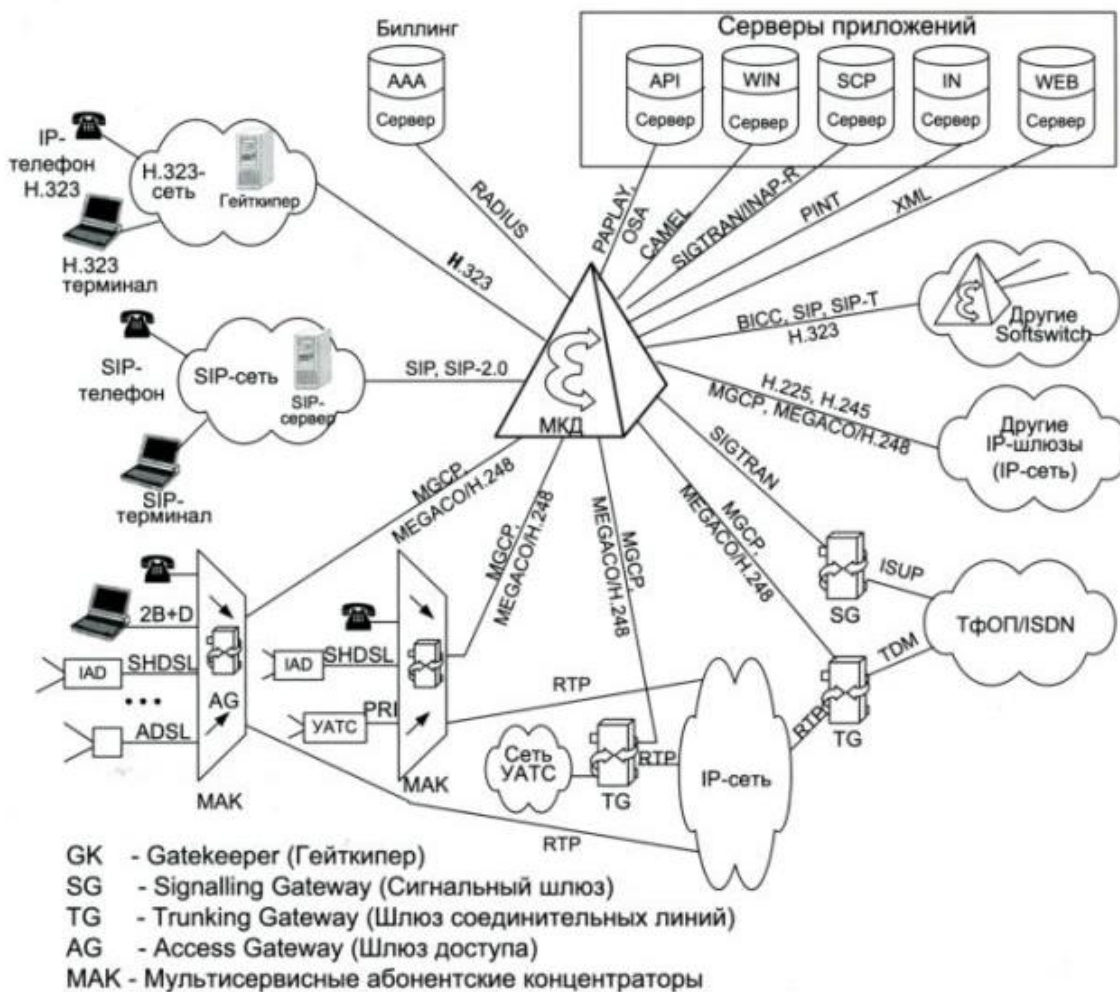


Рисунок 1.2 – Softswitch в составе системы электросвязи

В первую очередь коммутатор Softswitch управляет обслуживанием вызовов, то есть установлением и разрушением соединений. Точно так, как это имеет место в традиционных АТС с коммутацией каналов, если соединение установлено, то эти функции гарантируют, что оно сохранится (с установленной вероятностью) до тех пор, пока не даст отбой, вызвавший или вызванный абонент. В этом смысле коммутатор Softswitch можно рассматривать как управляющую систему. В число функций управления обслуживанием вызова входят распознавание и обработка цифр номера для

определения пункта назначения; а также распознавание момента ответа, момента, когда один из абонентов кладет трубку, и регистрация этих действий для начисления платы. Таким образом, Softswitch фактически остается все тем же привычным коммутационным узлом, только без цифрового коммутационного поля и абонентских комплектов, что позволяет легко интерпретировать его функции в различных сценариях модернизации телефонной сети общего пользования (ТФОП). Ответственность за перечисленные выше операции, выполняемые коммутатором Softswitch, возложена на входящий в его состав функциональный элемент Call Agent [2].

На рисунке 1.2. изображен коммутатор Softswitch и его взаимодействие с различными существующими и перспективными элементами сетей общего пользования по соответствующим протоколам.

Другой термин, часто ассоциируемый с Softswitch, - контроллер транспортного шлюза MGC. Это название подчеркивает факт управления транспортными шлюзами и шлюзами доступа по протоколу H.248 или другому. Softswitch координирует обмен сигнальными сообщениями между сетями, то есть поддерживает функциональность шлюза сигнализации - Signaling Gateway (SG). Он координирует действия, обеспечивающие соединение с логическими объектами в разных сетях, и преобразует информацию в сообщениях. Подобное преобразование необходимо, чтобы сигнальные сообщения были одинаково интерпретированы на обеих сторонах несходных сетей, обеспечивая с первого этапа модернизации работу с автоматическими телефонными станциями (АТС) [5].

1.2.1. Архитектура Softswitch. Исторически сложившееся разделение на классы автоматически было перенесено на Softswitch, однако на самом деле это заслуживает внимания только в случае внедрения Softswitch вместо узла с коммутацией каналов. С точки зрения передачи речи по IP-сети (Voice over IP, VoIP) это разделение будет не совсем корректным. При работе по любому сигнальному протоколу VoIP нет различий, например, между SIP-телефоном и Proxy-сервером SIP. Поэтому разделение на транзитные и местные устройства для Softswitch важно лишь при работе в ТФОП.

Эталонная архитектура сетей на базе коммутатора Softswitch, созданная консорциумом IPCC (ныне ISM Forum), состоит из четырех условных функциональных уровней:

– внизу архитектуры находится транспортный уровень (Transport Layer), отвечающий за перенос по VoIP-сети сигнальных сообщений и

мультимедийной информации;

– уровень управления вызовами и сигнализации (Call Control & Signaling) управляет основными элементами VoIP-сети, особенно находящимися на транспортном уровне. На этом уровне находятся такие устройства, как контроллеры медиа-шлюзов (MGC, Call Agent, Call Controller), привратники (Gatekeeper) и LDAP-серверы;

– уровень услуг и приложений (Service & Application) обеспечивает управление, логику и выполнение некоторого числа услуг или приложений. Уровень управления (Management) выполняет функции пользовательского обеспечения, поддержки операций и предоставления услуг, а также решает задачи биллинга и прочие задачи сетевого управления;

– уровень управления может взаимодействовать с любым из трех перечисленных уровней, используя стандартные или внутрифирменные протоколы и программные интерфейсы API.

Таким образом, при фактическом соблюдении принципа функциональной декомпозиции шлюза можно наблюдать различные варианты его реализации. Первые Softswitch-решения представляли собой единый блок, то есть физической декомпозиции шлюза не было, но существовало разделение функций программных или аппаратных модулей. Иными словами, оборудование имело интегрированную архитектуру. В другом варианте физически отделялся лишь медиашлюз, а контроллер медиашлюзов и шлюз сигнализации составляли единый комплекс. Такое решение можно считать частичной физической декомпозицией [9].

1.2.3. Применение технологий NGN для организации подключения конечных пользователей ТфОП. Конечными пользователями ТфОП являются:

- абоненты, использующие доступ по аналоговым абонентским линиям;
- абоненты, использующие базовый доступ ISDN;
- абоненты, использующие терминалы, предназначенные для работы в пакетных сетях (SIP и H.323-терминалы);
- УПАТС, подключаемые с использованием первичного доступа ISDN.

Абоненты, использующие аналоговый и базовый доступы, а также УПАТС могут подключаться к сети как непосредственно, так и с

использованием доступа интерфейса V5.

Решение задачи расширения абонентских подключений в рамках концепции NGN связано с внедрением оборудования гибкого коммутатора (если такое внедрение не было произведено ранее) и оборудования шлюзов доступа. При этом аналоговые и абоненты базового доступа подключаются к пакетной сети через оборудование резидентных шлюзов доступа. Оборудование УПАТС и существующее оборудование абонентских выносов подключается с использованием шлюзов доступа. Вновь создаваемая абонентская емкость может реализовываться на базе SIP и H.323-терминалов, что предполагает создание LAN WAN для подключения абонентов.

Очевидными преимуществами решения на основе NGN являются:

- эффективное использование ресурсов первичной сети достигается за счет применения оборудования кодеков на уровне шлюзов. Использование алгоритмов компрессии речи позволяет уменьшить требуемый ресурс в 1,5 – 4 раза в зависимости от типа используемого кодека;

- расширение списка предоставляемых услуг, конвергенция услуг, упрощение процедуры ввода новых услуг. Реализация дополнительных видов обслуживания в сети ISDN требовала их поддержки со стороны всех элементов. В случае создания уровней коммутации и управления услугами мультисервисной сети, новая услуга должна поддерживаться или реализовываться на уровне Softswitch или при взаимодействии с Softswitch. Ограниченное число гибких коммутаторов позволяет достаточно легко реализовывать новые услуги;

- уменьшение эксплуатационных расходов. Смещение сетевого интеллекта в ограниченное число сетевых точек снижает расходы, связанные с обслуживанием и модернизацией оборудования. Использование IP-протоколов в пакетной сети позволяет реализовывать системы управления, мониторинга, сбора статистической информации в рамках ресурсов пакетной сети;

- возможность гибкой тарифной политики. Реализация ограниченного числа точек управления установлением соединения позволяет централизовать систему учета стоимости и обеспечить применение гибких тарифных планов в отношении абонентов всей сети из одной точки. Оборудование Softswitch осуществляет учет стоимости для всех обслуживаемых абонентов. При этом реализация новых тарифных планов осуществляется на уровне Softswitch.

Недостатками решения на основе NGN являются:

- критичность к обеспечению надежности сети. Сосредоточение функций управления в одной точке сети приведет к прерыванию связи для всех обслуживаемых соединений в случае аварии. Решение проблемы потребует разработки системы обеспечения живучести сети с более жесткими требованиями, чем в классической ТфОП;

- достаточно высокие инвестиции на начальных этапах внедрения в условиях уже развитой инфраструктуры ТфОП.

1.3. Стратегии внедрения технологий NGN при развитии сети ТфОП

Основными вариантами применения пакетных технологий при модернизации существующих сетей связи являются:

- создание параллельной к существующей сети инфраструктуры NGN – стратегия наложения;

- создание инфраструктуры NGN, поглощающей существующую структуру ТфОП – структура замещения.

Первый вариант предполагает, что создаваемый фрагмент сети на основе NGN-технологий и существующая сеть ТфОП функционируют отдельно друг от друга, частично используя совместный ресурс первичной сети. Взаимодействие между сетями реализуется в ограниченном числе сетевых точек (шлюзов). При этом базовая услуга телефонии оказывается в обеих сетях связи или при взаимодействии сетей.

Второй вариант предполагает, что существующая ТфОП входит в состав мультисервисной сети, в основе которой лежат NGN-решения, при этом взаимодействие между любыми коммутационными узлами ТфОП осуществляется с использованием ресурсов NGN. Базовая услуга телефонии для межстанционных вызовов предоставляется при взаимодействии фрагментов существующей ТфОП и NGN или в рамках NGN.

Также рассматривается вариант с реализацией транзитного уровня существующей ТфОП в рамках NGN-сети, который можно считать переходным от варианта 1 к варианту 2.

1.3.1. Построение сети NGN без изменения существующей сети ТфОП. В данном варианте предполагается, что заданный фрагмент NGN создается без привязки к существующей структуре ТфОП, но привязывается к существующей структуре первичной сети. Решение об усилении существующей структуры первичной сети должно приниматься в стадии детального проектирования.

При принятии решений предполагается, что создаваемый фрагмент NGN должен быть максимально доступен большинству потенциальных пользователей на территории, где предполагается его развертывание, т.е. покрытие территории является по возможности равномерным.

Создание транспортного уровня NGN потребует использования существующих или создания новых ресурсов первичной сети. Выбор того или иного решения связан с состоянием существующей первичной сети. Если первичная сеть строится на основе технологий SDH и при этом первичный ресурс, достаточный для построения транспортного уровня фрагмента NGN существует или может быть получен путем использования оборудования систем передачи более высокого уровня, то возможно использование существующей первичной сети с соответствующей модернизацией в некоторых сетевых точках.

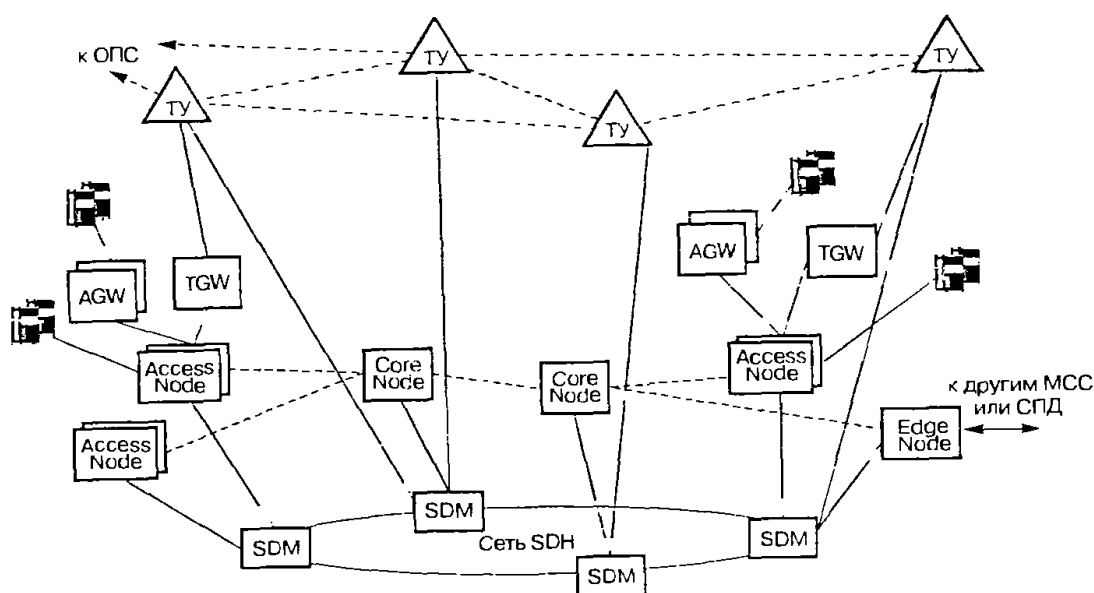


Рисунок 1.3 - Конфигурация транспортного уровня мультисервисной сети

Если первичная сеть строится на основе технологий PDH или аналоговых систем передачи, то потребуются создание параллельной структуры первичной сети. Решение о выборе технологии для создания такой структуры должно приниматься в процессе проектирования для конкретной сети. В этом случае возможно использование технологии SDH как средства построения агрегированной первичной сети, предназначенной как для передачи информации существующего фрагмента ТфОП, так и для организации транспорта для фрагмента NGN. Альтернативным является применение технологий, базирующихся на Ethernet (например, Gigabit Ethernet), для построения транспортной основы фрагмента NGN. Но такая основа возможна только в сети NGN. Теоретически можно обеспечить туннелирование потоков E1 существующей сети ТфОП через Ethernet в первичную сеть, но эта операция потребует достаточно больших инвестиций в оборудование транспортных шлюзов.

В качестве технологии, применяемой при создании транспортного уровня, может использоваться технология IP/MPLS при использовании первичной сети на основе Ethernet, либо IP/MPLS/ATM или IP ATM при использовании первичной сети на основе SDH. В то же время, решение о выборе конкретной технологии должно приниматься в процессе формулирования технического задания на проектирование сети и зависит от ряда факторов.

Реализация предоставленного варианта построения транспортного уровня потребует:

- внедрения оборудования коммутаторов магистральной транспортной сети. Число коммутаторов и сетевые точки внедрения (с привязкой к инфраструктуре существующей сети SDH) должны определяться в процессе детального проектирования;

- внедрение оборудования узлов доступа и оборудования шлюзов доступа на уровне опорных АТС, подлежащих замене, или на уровне которых планируется расширение абонентской емкости;

- расширение существующей емкости линейных сооружений (на участках где нет SDH- систем передачи – инсталляция таких систем) между

оборудованием вводимых узлов доступа и мультиплексорами SDH магистральной сети;

– внедрение оборудования межсетевых шлюзов между мультисервисной сетью и сетью ТфОП.

– Внедрение оборудования граничного шлюза (шлюзов) в тех сетевых точках, которые должны использоваться для выхода на сеть передачи данных или мультисервисные сети других операторов;

– Создание структуры сети доступа (участок между пользователем и узлом доступа).

1.3.2 Построение мультисервисной сети с поглощением сетевой структуры существующей ТфОП.

Данный вариант предполагает, что основой транзитной сети ТфОП будет являться создаваемый фрагмент NGN. Соответственно, все опорные АТС подключаются к NGN через оборудование шлюзов. В этом случае транзитный уровень ТфОП полностью заменяется NGN, соответственно, транзитные узлы ТфОП выводятся из обслуживания трафика ТфОП. Данный вариант является завершающей стадией формирования транспортного уровня мультисервисной сети, и его реализация потребует значительных инвестиций.

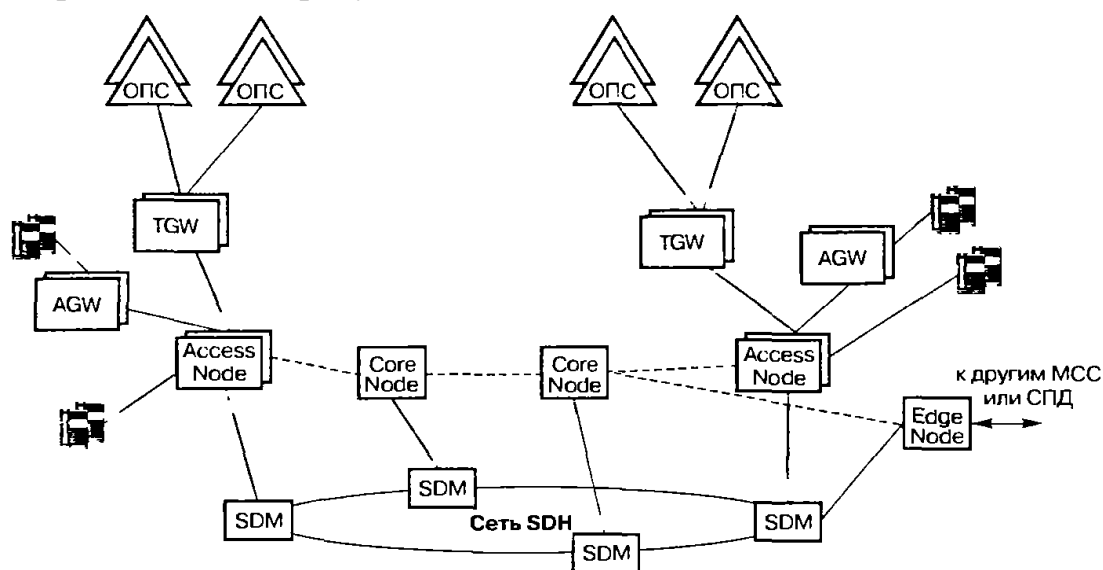


Рисунок 1.4 - Построение транспортного уровня мультисервисной сети, поглощающего транзитную структуру ТфОП

1.3.3 Комбинированный вариант. Данный вариант представляет собой стратегию частичного замещения оборудования ТфОП мультисервисной сетью

СВЯЗИ.

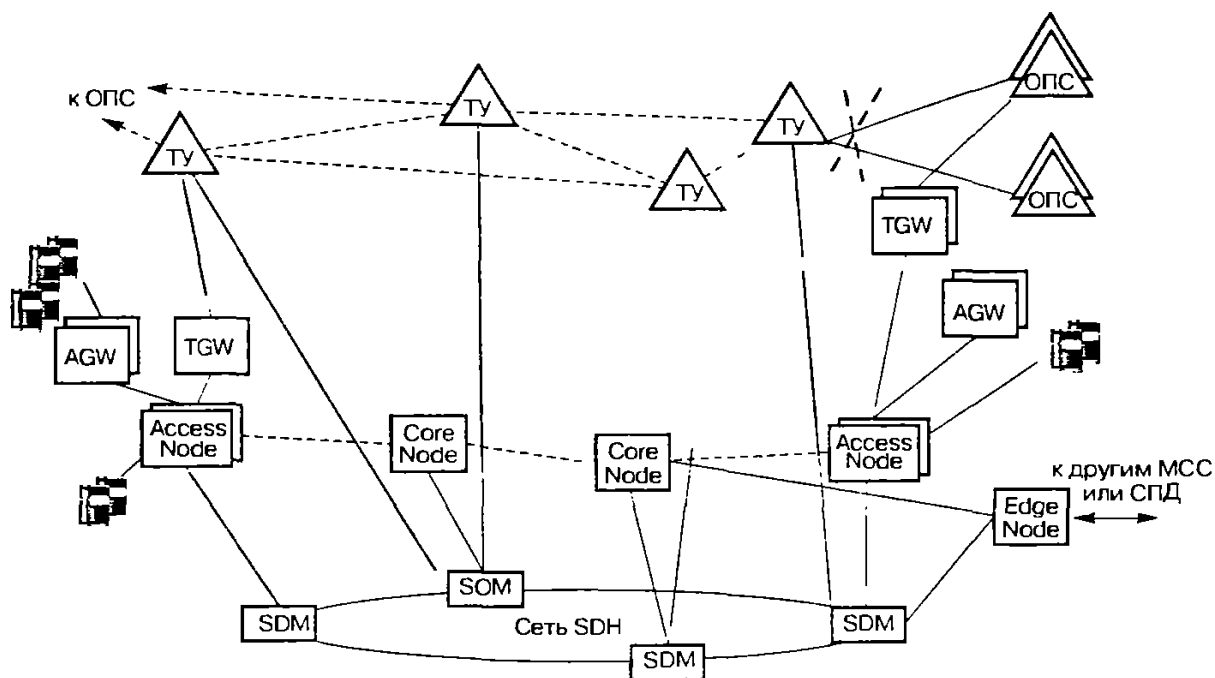


Рисунок 1.5 - Построение транспортного уровня мультисервисной сети.

Комбинированный вариант

В этом случае часть ОПС подключается к оборудованию мультисервисной сети через оборудование транкинговых шлюзов (ТGW), а остальные ОПС сохраняются в структуре ТфОП. Введение новой абонентской емкости в замещаемом фрагменте сети и замена выводимых из эксплуатации АТС осуществляется в рамках развития местной сети связи. Данный вариант является способом постепенного развития варианта 1 до варианта 2 и не может рассматриваться как альтернативным [1].

Дополнительно к варианту 1 реализация потребует:

- внедрения на уровне всех опорных станций (ОПС) оборудования шлюзов;
- замены линейных сооружений и систем передачи, не ориентированных на поддержку SDH, на участках между ОПС и узлами доступа и магистральной сетью SDH. В то же время усиление магистральной сети SDH не потребуется;

- внедрение более мощных, по сравнению с первым вариантом, узлов ядра сети;
- внедрение оборудования шлюзов для подключения сетей альтернативных операторов (исключение составляет подключение на уровне опорных АТС);
- использование большего числа гибких коммутаторов или гибких коммутаторов с большей производительностью.

1.4 Протоколы в NGN

Сети NGN можно рассматривать в качестве сетевых решений, объединяющих фрагменты различных существующих сетей (Интернет и СТОП) с применением свойственных этим сетям технологий. Соответственно, в NGN применяются как протоколы Интернет (например, IP, TCP, UDP, FTP, HTTP, SMTP и другие протоколы стека TCP/IP), так и протоколы СТОП (например, ОКС7, EDSS1, протоколы интерфейса V5). Кроме того, некоторые протоколы NGN являются перспективными, прямо или косвенно затрагивая принципы взаимодействия сетей Интернет и СТОП в рамках создания мультисервисной сети. Протоколы NGN с некоторой долей условности можно классифицировать следующим образом.

1.4.1 Базовые протоколы стека TCP/IP. Протоколы Интернет можно использовать для передачи сообщений через любой набор объединенных между собой сетей. Они в равной мере пригодны для связи как в локальных, так и в глобальных сетях. Комплект протоколов Интернет включает в себя не только спецификации низших уровней (например, TCP и IP), но также спецификации для таких общих применений, как почта (SMTP), приложения гипертекстовых терминалов (HTTP) и передача файлов (FTP).

Маршрутизация по протоколу IP (Internet Protocol) определяет формат, адресацию и характер перемещения дейтаграмм IP через объединенные сети (по одной пересылке за раз). В начале следования дейтаграмм весь их маршрут не известен. Вместо этого на каждом промежуточном узле вычисляется следующий пункт назначения путем сопоставления адреса пункта назначения,

содержащегося в дейтаграмме, с записью данных в маршрутной таблице текущего узла. Участие каждого узла в процессе маршрутизации заключается в продвижении пакетов, базирующемся лишь на внутренней информации, вне зависимости от того, насколько успешным будет процесс, и того, достигнет или нет пакет конечного пункта назначения. Другими словами, IP не обеспечивает отправку на узел- источник сообщений о неисправностях, когда имеют место аномалии маршрутизации. Выполнение этой задачи предоставлено другому протоколу Интернет, а именно протоколу управляющих сообщений Интернет (Internet Control Message Protocol - ICMP).

1.4.2 Сигнальные протоколы SIP H.323. В настоящее время для установления мультимедийных вызовов через сети IP создано несколько протоколов, например SIP (Session Initiation Protocol) [RFC 2543] и H.323. Появление данных стандартов открывает широкие возможности децентрализации обеспечения услуг телефонии, причем услуги могут управляться со стороны пользователя.

Протокол инициирования сеансов связи (SIP) предназначен для организации, модификации и завершения мультимедийных сеансов или вызовов. Мультимедийные сеансы включают в себя мультимедийные конференции, Интернет-телефонию и другие аналогичные приложения. SIP является одним из ключевых протоколов, используемых для реализации передачи речи по сетям IP (Voice over IP - VoIP). Таким образом, SIP есть упрощенный протокол сигнализации, имеющий широкое применение в Интернет-телефонии.

Если для управления ресурсами среды передачи MG между MGC и шлюзами среды передачи (то есть транспортными или медиа-шлюзами) используется протокол H.248/MEGACO (MGCP), то SIP или H.323 могут применяться для установления речевого соединения на участке между MGC и клиентом VoIP.

Хотя и H.323, и SIP могут использоваться для осуществления такой сигнализации, необходимо отметить, что ни один, ни другой из них не разрабатывался в расчете на поддержку услуг этого типа. Следовательно, можно ожидать, что для поддержки связи между MGC в целях предоставления услуг VoIP тот и/или другой будут соответственно оптимизированы.

Несмотря на то, что SIP в типовом варианте применяется поверх протоколов UDP или TCP, без внесения каких-либо технических изменений он может использовать возможности протоколов IPX, Frame Relay, AAL5/ATM

или X.25 [6].

1.4.3 SIGTRAN. Стек протоколов SIGTRAN служит для передачи сигнализации TDM через IP-сеть. Транспортным протоколом в этом стеке является SCTP, он обеспечивает надежную передачу сигнальных сообщений между двумя точками, которые коммуницируют по IP-протоколу. В стеке протоколов TCP/IP находится на месте протоколов TCP или UDP. По сравнению с выше упомянутыми, SCTP (Stream Control Transmission Protocol) имеет дополнительные функции, которые необходимы для надежной передачи сигнальных сообщений.

Над протоколом SCTP находятся уровни адаптации сигнализации (Signaling User Adaptation Layers) (M3UA – MTP3 User Adaptation Layer, M2UA – MTP2 User Adaptation Layer и т.д.), которые обеспечивают адаптацию работы протокола SCTP сигнализации TDM (ISUP, MTP3 - Message Transfer Part level 2, V5.2, DSS1 и т.д.)

Уровень адаптации пользователей M3UA поддерживает передачу любой пользовательской сигнализации MTP3, например, сообщения ISUP или SCCP (Signaling Connection Control Part) через IP-сеть. При этом используются услуги протокола передачи с управлением потока (SCTP). Для передачи сообщений ОКС7 через IP-сеть пункты сигнализации ОКС7 переводятся в IP-адреса. Сигнализация используется для коммуникации между шлюзом сигнализации SG и программным коммутатором CS.

Уровень адаптации пользователя ISDN обеспечивает функциональность передачи цифровой абонентской сигнализации номер 1 (DSS1) из сети TDM через SG в IP-сеть. Сигнализация используется для установления коммуникации между шлюзом сигнализации (SG) и программным коммутатором CS для:

- передачи примитивов интерфейса Q.921/Q.931;
- передачи информации между модулями управления уровнями в SG и CS;
- управления активными соединениями между SG и CS;
- активации и деактивации физического уровня абонентских соединений ISDN.

IUA поддерживает основной и первичный доступ, а также соединения точка-точка и точка-многоточка. Сигналы ISDN поступают в SG, откуда IUA передает сигнальную информацию уровня Q.921 (обычно Q.931) пользователю Q.921 в программном коммутаторе. Функция шлюза, следовательно,

выполняется на втором уровне. В SG на абонентском доступе терминируются протоколы физического (I.430 и/или I.431) и канального уровней (Q.921), в то время как протоколы сетевого уровня Q.931 или QSIG терминируются в программном коммутаторе. SG выполняет функции сетевого взаимодействия, которые обеспечивают взаимодействие протоколов абонентского доступа с транспортными функциями IP-сети. IUA использует услуги протокола передачи с управлением потока (SCTP) для надежной и своевременной передачи абонентской сигнализации через IP-сеть

1.4.4 Протокол SIP-T. Протокол инициирования сеансов для телефонии SIP-T (SIP for telephones) базируется на протоколе SIP и обеспечивает его использование для передачи телефонных сигналов между сетью TDM, которая использует сигнализацию SSN7, и IP-сетью. SIP-T обеспечивает прозрачную передачу сигнализации TDM через IP-сеть. Сообщения SIP-T являются сообщениями SIP, которые содержат сигнальную информацию (например: сообщения ISUP в случае ОКС7) и другую информацию, необходимую для установления каналов.

Для передачи телефонных сигналов сигнализации ТфОП используются два отдельных механизма, которые используются одновременно: туннелирование (инкапсуляция) и преобразование (трансляция). Двоично-закодированные сигналы ISUP добавляются к телу сообщения SIP и таким образом инкапсулируются. Туннелирование обеспечивает прозрачную передачу сигналов сигнализации ISUP. Преобразование включает преобразование протоколов сигнализации SIP и ISUP в обоих направлениях. Происходит как преобразование самих сигналов, так и преобразование параметров ISUP в поля SIP и обратно. Сообщения ISUP передаются в теле сообщения SIP. Заголовок SIP содержит переведенную информацию маршрутизации ISUP. SIP-T также определяет применение метода SIP INFO для надежной сигнализации in-call ISUP в IP-сетях.

Сигнализация SIP-T используется для соединения между программными коммутаторами CS - CS и CS - iCS. Медиапоток SIP-T передается с помощью протокола RTP через UDP [13].

1.4.5 Протокол управления шлюзом MGCP. Протокол управления медиа-шлюзом (MGCP) служит для контроля работы между медиашлюзом (MG) и программным коммутатором (CS). Программные коммутаторы используют протокол MGCP для сообщения медиашлюзам, какие медиапотоки TDM и IP он должен соединять между собой. Определяет способ коммуникации между MG

и CS, при чем весь интеллект выполнения вызовов заложен в CS, MG только выполняет команды и оповещает CS о событиях, происшедших на конечных точках, которые он объединяет. То есть обеспечивает, чтобы программный коммутатор управлял неинтеллектуальным медиашлюзом.

MGCP предназначен для сетей с централизованной архитектурой. Обеспечивает увеличение количества портов и функциональности сетевых серверов, чтобы не было необходимости замены терминального оборудования. Для различных сигнализаций используются различные пакеты, которые определяют общую функциональность сигнализации ТфОП (пакеты Line и DTMF - Dual Tone Multifrequency), соединение абонентских линий и выполнения услуг, например, удержание вызова и передача соединения.

Таблица 1 – Набор протоколов в окружении программного коммутатора

| | MGCP | IUA | M3UA | SIP-T |
|--------|------|-----|------|-------|
| CS-AGW | + | - | - | - |
| CS-SMG | + | + | + | - |
| CS-MS | + | - | - | - |
| CS-CS | - | - | - | + |

1.5 Модель IMS

Одной из сильных сторон концепции NGN в настоящее время является ее распространенность: в мире, существует множество сетей, пошедших по этому пути развития, уже накоплен обширный опытный материал по внедрению SoftSwitch-архитектур. Все преимущества концепции можно обобщить одним

словом – гибкость, подразумевая под этим адаптацию к любым запросам оператора.

Однако у решения NGN есть и другая сторона. Многообразие представленного в данном сегменте рынка оборудования порождает проблему его совместимости. Многочисленные центры по обеспечению взаимодействия систем (System interoperability) помогают решить ее лишь отчасти, так как зачастую тесты не успевают за обновлением версий программного обеспечения и не могут охватить все возможные комбинации устройств, работающих в сетях операторов. Это также порождает более широкую проблему взаимодействия операторов друг с другом и сводит на нет предусмотренные многими технологиями возможности по обеспечению мобильности пользователя и услуг. В отличие от традиционных сетей, в NGN-решении нет монолитных сетевых узлов, в которых сконцентрированы все функции. NGN-сети имеют компонентное построение с использованием различных функциональных модулей, и часто производители стараются продвинуть полное решение только от себя, защищая его собственными протоколами связи между функциональными компонентами. В отличие от традиционных сетей, в NGN-решении нет монолитных сетевых узлов, в которых сконцентрированы все функции. NGN-сети имеют компонентное построение с использованием различных функциональных модулей, и часто вендоры стараются продвинуть полное решение только от себя, защищая его собственными протоколами связи между функциональными компонентами.

Решением проблемы совместимости может служить концепция, предложенная проектом TISPAN (Telecommunications and Internet converged Services and Protocols for Advanced Networking). Предлагаемая TISPAN архитектура NGN имеет некоторые отличия от архитектур предлагаемых ETSI. Все подсистемы определены не как совокупность узлов, а как набор абстрактных функциональных модулей, каждый из которых может быть реализован произвольным количеством физических элементов. Все модули взаимосвязаны, и интерфейсы между ними специфицированы. За редким исключением взаимодействие функциональных модулей осуществляется по сигнальному протоколу SIP-I, однако на некоторых интерфейсах определены другие протоколы, например DIAMETR и H.248 [7].

Один из ключевых моментов архитектуры заключается в том, что в основе решения TISPAN лежит система управления вызовами и услугами IMS (IP Multimedia Subsystem). Первоначально IMS была разработана как IP-система управления вызовами в сетях подвижной связи, в ней эффективно

использовались принципы Softswitch и возможности протокола SIP

Среди важных принципов IMS следует отметить, что она базируется на открытых Интернет-стандартах и поэтому без дополнительной адаптации может использовать все услуги и приложения сети Интернет, однако внутри самой IMS предусмотрено применение протокола IPv6. Второй особенностью архитектуры IMS является инновационный подход к предоставлению услуг, позволяющий оператору создавать различные услуги и интегрировать их друг с другом, а также обеспечивающий широкие возможности по персонализации и увеличению количества услуг. В мобильных сетях для предоставления услуг используются так называемые вертикальные сервисные платформы (рис 1.6.), которые успешно справляются с предоставлением небольшого числа ключевых услуг.

Подход IMS предполагает горизонтальную архитектуру (рис. 1.6), позволяющую оператору просто и экономично внедрять новые персонализированные услуги, причем пользователи могут получить доступ к различным услугам в рамках одной сессии связи.

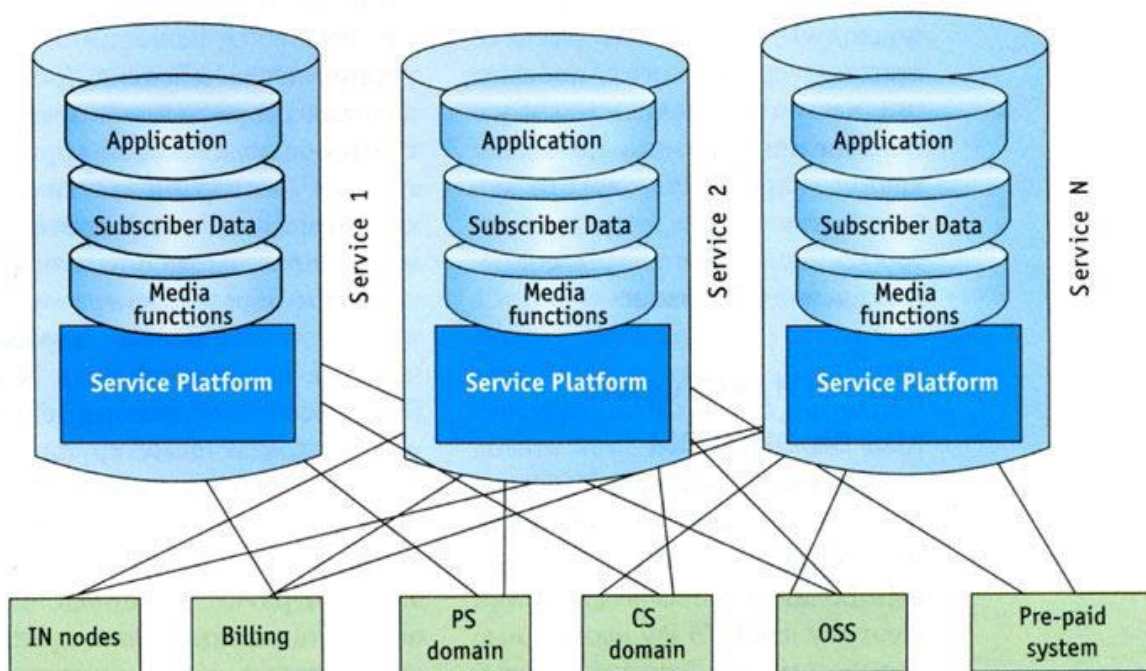


Рисунок 1.6 - Вертикальные сервисные платформы

Новая архитектура предоставления услуг позволила изменить традиционный взгляд на их создание и стандартизацию. Возможности, которые привнесло внедрение IMS, безусловно, добавляют плюсов к решению TISpan.

Другими подсистемами, уже разработанными, а не позаимствованными TISpan, являются: Network Attachment Subsystem (NASS), в основные задачи которой входит динамическое назначение IP-адресов (используя DHCP – Dynamic Host Configuration Protocol), аутентификация на уровне IP, авторизация доступа к сети, управление местонахождением на уровне IP; Resource and Admission Control Subsystem (RACS), которая выполняет управление доступом к услугам IMS. [21].

Архитектура IMS поддерживает предоставление пользователям мультимедийных услуг и обеспечивает эмуляцию большинства PSTN/ISDN услуг. Эмуляция заключается в предоставлении ТфОП/ISDN услуг на базе IMS интеллектуальным терминалам (например, IP-телефонам). При этом не обязательно строго выполнять все требования, предъявляемые к этим услугам, и предоставлять весь спектр услуг, можно ограничиться отдельными наиболее популярными услугами, возможно, с другой эргономикой.

Отдельно TISpan определяет подсистему эмуляции ТфОП/ ISDN, позволяющую осуществить замену оборудования коммутации каналов TDM оператора, сохраняя традиционные абонентские терминалы. Эмуляция создает для конечного оборудования видимость того, что IP-сеть является ТфОП/ISDN сетью. Таким образом, NGN TISpan позволяет, осуществив кардинальную смену опорной сети, отложить полную модернизацию абонентского доступа.

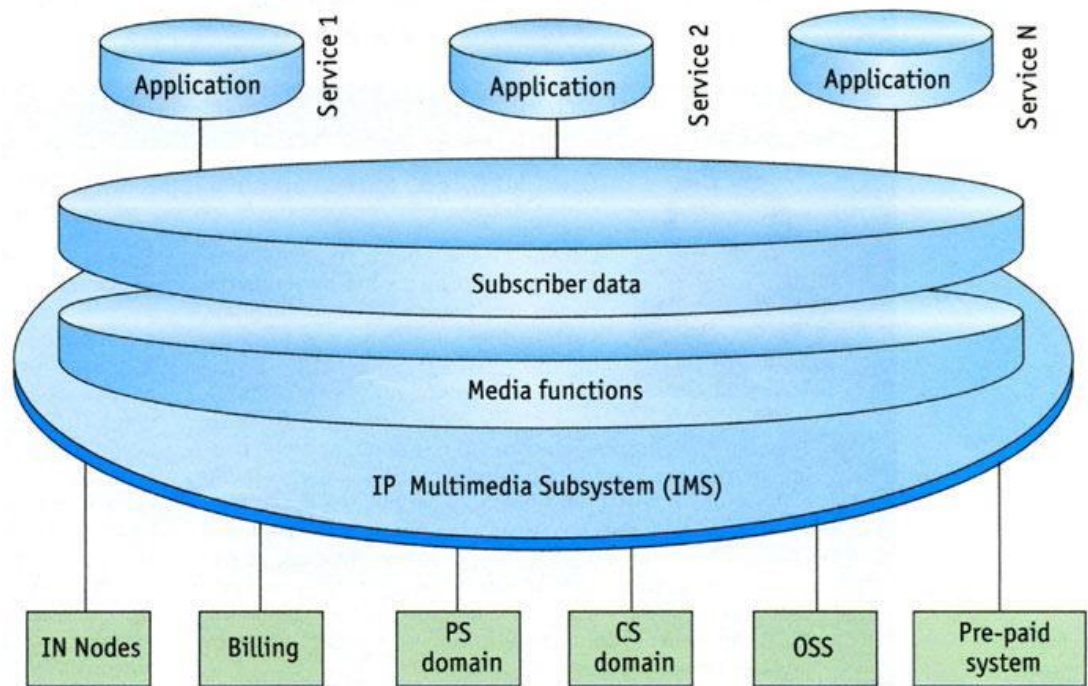


Рисунок 1.7 - Горизонтальные сервисные платформы

Если совместить тот факт, что IMS – это по сути «мобильное» развитие Softswitch, то вряд ли можно с полной уверенностью назвать TISpan конкурентом подходу IPCC. Немного различающаяся терминология, добавление нескольких подсистем и использование другого, но аналогичного управления – все это, может быть, просто шаги к созданию единой архитектуры, совмещающей два решения.

Общий план перехода к FMC (Fixed-Mobile Convergence) – конвергенции фиксированной и подвижной связи показан на рисунке 1.8. Конвергенция сетей FMC на основе IMS представляет собой сращивание интернет-технологий и протоколов с известными классическими концепциями интеллектуальных платформ в телекоммуникационной сети.

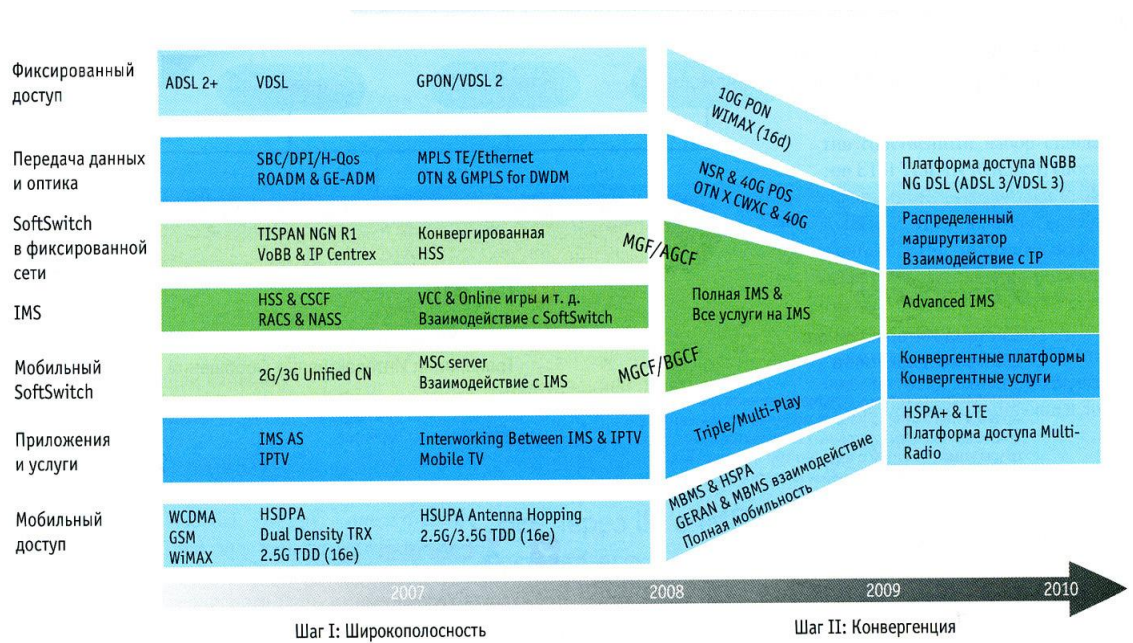


Рисунок 1.8 - Общий план перехода к FMC на базе ALL IP.

Новые технологии, такие как широкополосный доступ, передача речи по IP-сети, беспроводные локальные сети, рушат барьеры, препятствующие распространению новых услуг в области фиксированных и мобильных сетей. IMS обеспечивает предоставление и администрирование комплексных (пакетированных) услуг, что стимулирует взаимодействие между различными сетями, и это отчасти объясняет всеобщий интерес к IMS как цели развития всех операторов [23].

2 Анализ телекоммуникационного трафика и постановка задачи

2.1 Самоподобность в сетевом трафике

Исследования последних лет локального и глобального трафика привели к восприятию свойств, которые проявляются в изменчивости трафика в широком диапазоне масштабов времени, получивших название самоподобности.

Инвариантная к масштабу пульсирующая структура оказывает влияние на качественные показатели и производительность сети и несовместима с традиционными моделями сетевого трафика. Повсеместность этого явления поразительна, поскольку оно наблюдается в различных сетевых контекстах от Ethernet до ATM, LAN, WAN, сжатого видео – и WWW-трафика. Поэтому выяснение причин и последствий самоподобности становится чрезвычайно важной проблемой.

При разработке эффективных объединенных сетевых структур, в пределах которых поддерживаются гарантии запрашиваемого QoS (Quality of Service) при максимально эффективном использовании ресурсов, вопросы понимания и обоснования самоподобности на основе физических принципов реального сетевого окружения выходят на первое место.

При анализе причин самоподобности в трафике утверждается, что самоподобность может возникать в результате объединения множества отдельных, но сильно изменчивых ON/OFF источников, проявляющих синдром бесконечной дисперсии. Иначе говоря, в результате наложения образуется объединенный сетевой трафик, стремящийся к фрактальному броуновскому движению. Однако авторы признают, что, несмотря на ценность, эти результаты страдают из-за целого ряда предположений, не являющихся реалистичными в условиях реального сетевого окружения. Сложность понимания лежащих в основе принципов, которые могут привести к самоподобию в сетевом трафике, определяется, по мнению авторов, тем, что не существует одного фактора, вызывающего самоподобность.

На основе анализа библиографических источников (в основном американских) авторы приводят основные факторы, которые могут продуцировать в сетевом трафике долговременную зависимость различных

видов: поведение пользователя; генерация, структура и поиск данных; объединение трафика; средства управления сетью; механизмы управления с обратной связью; развитие сети. Детальный анализ каждого из них проводится ниже.

Следует отметить, что действие указанных механизмов позволяет влиять на структуру трафика, изменяя его природу и, если самоподобие уже присуще трафику, то в некоторых случаях усилить ее.

Однако трудно представить, что в силу действия указанных факторов самоподобность может появиться сама по себе. Возникновение фрактальных свойств трафика на прикладном уровне возможно только в случае, когда сам источник является хаотической динамической системой и генерирует трафик, обладающий свойством самоподобия.

Многочисленные измерения показали, что подобная структура трафика - не отдельное побочное явление, а характерная особенность, сложившаяся в пределах существующих распределенных сетевых структур с промежуточным накоплением. Возникает естественное мнение, что в основе самоподобия лежит один единственный причинный фактор, который, несмотря на многообразие форм проявления, объединяет всю их совокупность одним и тем же способом обработки информации.

Целью работы является попытка показать, что долговременная зависимость, а, следовательно, и самоподобность в сетевых структурах возникает в процессе преобразования битового потока в поток ячеек (ячейка – пакет фиксированной длины).

Статистические свойства потока пакетов. Определяются они следующими факторами:

- случайным характером трафика в виде битового потока, генерируемого источником информации;
- особенностями преобразования битового потока в поток пакетов (ячеек), обусловленными технологическими процессами преобразования;
- целенаправленными преобразованиями потока в процессе агрегирования с целью улучшения качественных показателей.

Так как в этих трех случаях пакеты поступают неравномерно, то временной интервал между последовательными приходами пакетов является

случайной величиной. На статистические характеристики и структуру полученного потока, в свою очередь, воздействует ряд факторов.

Специфика операционных систем с разделением времени. Каждый процесс в системе развивается в "виртуальном времени", что определяется, прежде всего, доступными ресурсами. В процессе передачи информации от уровня приложения до канального это приводит к неравномерности интервалов времени между фазами формирования пакетов даже при условии генерации равномерного потока данных.

Динамика работы информационного приложения, использующего средства межсетевого взаимодействия. Определяет характер агрегированного потока данных. Приложение может генерировать данные с интенсивностью, определяемой наличными ресурсами (объемом буферной памяти и пропускной способностью каналов связи).

Реализация протокола транспортного уровня. Обеспечивает достоверную доставку пакетов и регулирование скорости их передачи с помощью замкнутого контура обратной связи между получателем и источником данных.

Особенности работы протоколов канального уровня, например коллизии, возникающие при разделении среды передачи и увеличивающие временные интервалы между пакетами при росте загрузки каналов.

Характеристики и административные ограничения, введенные в промежуточных сетевых узлах для обеспечения заданных параметров качества сервиса.

Более сложные зависимости в потоке данных возникают при использовании протоколов ATM и Frame Relay, которые предусматривают встроенные функции контроля качества виртуальных соединений с помощью стратегий буферизации, приоритезации и резервирования.

Формирование трафика в данном случае направлено на изменение характеристик потока ячеек в соединениях виртуального пути или канала с целью снижения пиковой скорости, ограничения длины пачки или снижения времени задержки путем расстановки ячеек во времени, а также планирования трафика (Traffic Shaping). Право формирования трафика предоставляется как операторам сети, так и пользователям с целью согласования параметров трафика (проходящего через интерфейс "пользователь-сеть") с соглашением по трафику. Для сетевых операторов формирование трафика становится

эффективным средством оптимального использования сетевых ресурсов по критерию "задержка-производительность".

Преобразование битового потока в поток ячеек. Скорость передачи информации, доступная пользователю i -й службы Ш-ЦСИС, является стохастической величиной и, следовательно, представляет собой совокупность функций времени, имеющих вероятностное описание. Соответствующими вероятностными характеристиками могут быть безусловные и совместные плотности вероятности случайных величин, являющихся точечными функциями процесса для фиксированных моментов времени, причем полная их совокупность (например, битовая скорость передачи информации) представляет собой ансамбль, в котором любая его компонента есть выборочная функция случайного процесса $rk(t)$, отнесенная к конкретному сеансу.

Значения реализации функции в некоторый момент времени t_i определяют случайную величину Rk_i . При пакетной коммутации битовый поток преобразуется в дискретную последовательность пакетов, в общем случае переменной длительности.

Таким образом, чем больше период наблюдаемой активности, тем больше вероятность того, что соединение/сеанс будет существовать в будущем. Отсюда очевидно, что "тяжелые хвосты" приводят к предсказуемости, а, следовательно, являются причиной долговременной зависимости в сетевом трафике.

Статистические свойства потока ячеек полностью определяются распределением интервалов времени между ячейками. Преобразование битового потока в поток пакетов сопровождается появлением распределений с "тяжелыми хвостами". Распределения с "тяжелыми хвостами" возникают независимо от того, какой закон распределения вероятностей имеет исходный преобразуемый битовый поток. Соответствующими вероятностными характеристиками могут быть безусловные и совместные плотности вероятности случайных величин, являющихся точечными функциями процессов.

2.2 Сравнительный анализ телекоммуникационных трафиков

На современном этапе развития NGN-сетей крайне необдуманно не учитывать "взрывной" характер трафика, объединенного пакетом услуг Triple

Play. Современные исследования трафиковых измерений, проведенные в реальных телекоммуникационных сетях, доказывают, что сетевой трафик является самоподобным, или фрактальным, по структуре, то есть пульсирующим в широких пределах временного масштаба. Так как самоподобность предполагает значительное влияние на сетевые характеристики, понимание причин и влияний трафиковой самоподобности – важная проблема.

Самоподобность может возникать в результате объединения множества отдельных, хотя и сильно изменчивых ON/OFF-источников (то есть ON– и OFF–периоды имеют распределения с тяжелыми хвостами и бесконечные дисперсии: например, они подчиняются распределению Парето). Другими словами, в процессе передачи трафика от хоста к хосту возникают ON-периоды (периоды передачи группы пакетов хостом) и OFF-периоды (периоды ожидания хостом отклика на передачу или периоды подавления пауз для VoIP). А наложение множества ON/OFF-источников, проявляющих синдром бесконечной дисперсии, в результате дает самоподобный объединенный сетевой трафик, стремящийся к фрактальному броуновскому движению.

Для сетей, предоставляющих сервисы Triple Play, самоподобие трафика целесообразнее рассматривать на примере каждого вида услуг при объединении трех его компонент - данных, речи и видео.

Трафик передачи данных.

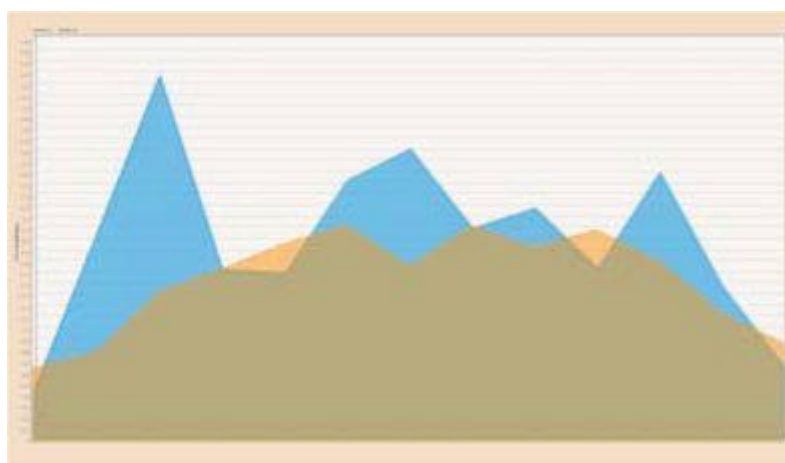


Рисунок 2.1 - Пример структуры трафика видеоконференции

В IP-сетях трафик передачи данных разделяется на TCP и UDP (по используемому протоколу передачи) на транспортном уровне или на Web, TELNET, FTP или e-mail (по программе) на прикладном уровне. Кроме того, каждая из этих частей трафика состоит из многих мультиплексированных потоков от различных соединений. Один пользователь может запускать один или более потоков одновременно (например, параллельные соединения в одной сессии с целью ускорения получения информации или запуск нескольких сессий с одного браузера).

Объединение множества ON/OFF-источников трафика с чередующимися периодами ON и OFF создает агрегированный трафик, обладающий свойством самоподобия. Агрегированный трафик передачи данных можно рассматривать как суперпозицию ON/OFF-источников, которые осуществляют передачу запрашиваемого файла в течение периода ON, а период OFF соответствует интервалу времени между передачами. Характеристики трафика также оказываются крайне устойчивыми к операциям сети, таким как разделение, объединение, построение очередей, организация управления и формирование. Самоподобность сохраняется при наложении однородных и разнородных, то есть независимых, источников трафика, и это свойство присутствует в широком диапазоне условий: как в случаях изменений предельной пропускной способности и емкости буфера, так и при смешивании с перекрестным трафиком, обладающим другими (корреляционными) характеристиками.

Трафик речевых сервисов.

Характеристики трафика, генерируемого отдельным голосовым источником, сильно зависят от используемого кодера речи (кодека). Основная функция кодека речи - выполнять аналогово-цифровое преобразование сигнала, а также его последующее цифровое сжатие. Различаются два класса речевых кодеков и генерируемых ими потоков. К первому классу относятся потоки трафика с постоянной интенсивностью (например, кодеки формы G.711). К другому классу относятся потоки речевого трафика, полученные на выходе кодеков, использующих подавление пауз и генерирующих активные (ON) и неактивные (OFF) периоды, следующие друг за другом. Чаще других в Интернет-телефонии используются гибридные кодеки (например, GSM 6.10, G.723.1, G.729A). Основным является то, что подобные кодеки генерируют аудиокадры с постоянной битовой скоростью. В случае, когда используется схема подавления пауз, кодеки могут работать в двух режимах: режим паузы с

нулевой битовой интенсивностью или же пониженной битовой интенсивностью для некоторых типов кодеков и активный режим со скоростью сжатого цифрового потока. Независимо от режима длительность и размер кадра остаются постоянными.

Информация на уровне соединения позволяет провести тщательный анализ всплесков голосового трафика.

Видеотрафик.

Видео – это последовательность непрерывных пространственно неподвижных картин, называемых кадрами. Существует несколько физических причин, почему трассы видеоисточников являются особыми. Каждая неподвижная картина может быть представлена кодирующим алгоритмом в цифровом виде и затем сжата для уменьшения полосы пропускания. Обычно используется такой способ уменьшения полосы пропускания: сначала пересылается начальный полный кадр, а затем – только отличия последующих кадров от полного. Так как расположенные рядом кадры мало отличаются друг от друга (поскольку движение является непрерывным), это приводит к существованию значительной корреляции кадров, находящихся рядом. Защититься от ошибок передачи можно, периодически передавая полный кадр. Кроме того, при изменении сцены исчезает зависимость от прошлых кадров. В этом случае функциональная корреляция заканчивается, что может также положить конец и статистической корреляции в размерах кадра. Так как произошедшие изменения требуют, чтобы новый кадр был передан полностью, продолжительность сцен отражается на характере трассы. По этим и некоторым другим причинам видеотрафик отличается от трафика данных и голоса, и, как следствие, модели и выводы, полученные для видео, не могут быть применены к другим типам трафика.

-Видеоконференции. При видеоконференциях картинка почти не меняется (за исключением небольшого движения собеседников), поэтому видеоконференции могут считаться самым простым типом видео. Источником видео может быть сигнал в стандарте как PAL, так и NTSC, конвертируемый далее в общий стандарт одного из двух типов: CIF или QCIF.

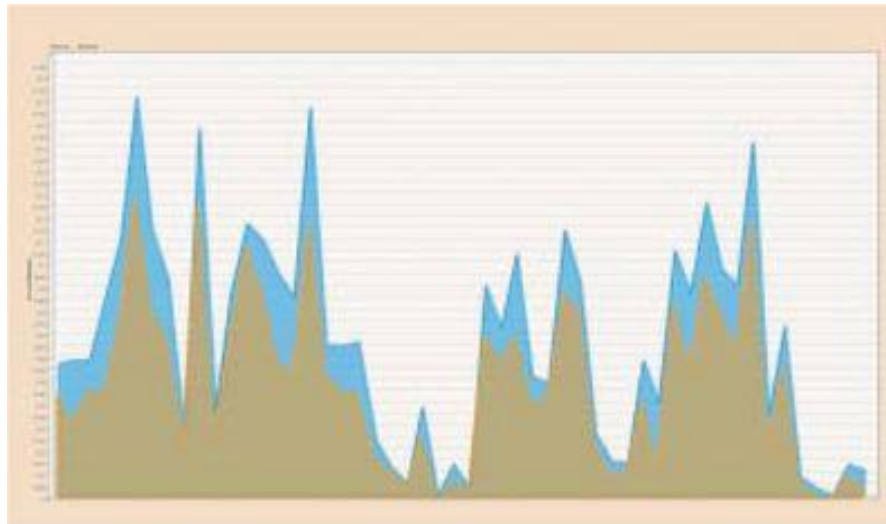


Рисунок 2.2 - Пример структуры трафика передачи голоса VoIP

Стандарт Common Intermediate Format (CIF) обеспечивает более высокое качество, но требует более широкой полосы частот (при использовании современных методов компрессии рекомендуемые скорости передачи составляют 384 Кбит/с и выше). Достигаемое разрешение оказывается всего лишь вдвое хуже, чем в системе NTSC.

Стандарт Quarter Common Intermediate Format (QCIF) имеет разрешение вдвое ниже CIF по каждому измерению, то есть в четыре раза меньшее общее число пикселей, однако и требуемая скорость передачи может быть снижена до 64 Кбит/с.

Проведенные исследования последовательностей трафика видеоконференций позволяют сделать вывод о присутствии в них долговременной зависимости и подчеркивают важность кратковременных корреляций при анализе трафика.

Широковещательное видео. Более динамичными являются видеопоследовательности, характерные для фильмов, новостей, спортивных передач и развлекательного телевидения.

Широковещательное VBR-видео отличается по скорости потока от VBR-видеоконференций. Так, последовательности видеоконференций состоят в основном из картинок "голова-плечи" с небольшим панорамированием или без него, в то время как вещательное видео характеризуется постоянной сменой

сцен. В связи с межкадровым кодированием, очевидно, что при изменении сцены потребуется больше бит, чем для внутрисценивых кадров, что отличает широковещательное видео от видеоконференций.

MPEG-видеотрафик. MPEG был разработан для движущихся изображений и применялся к "реальным" данным. Это методика сжатия с потерями. Для увеличения сжатия она использует ограничения на пространственное и временное разрешение глаза. Кроме того, MPEG использует свойство изображения, при котором большое количество кадров в видеопоследовательности подобно своим ближайшим соседям. Пересылая информацию об измененных пикселях между соседними кадрами, можно добиться значительного увеличения коэффициента сжатия.

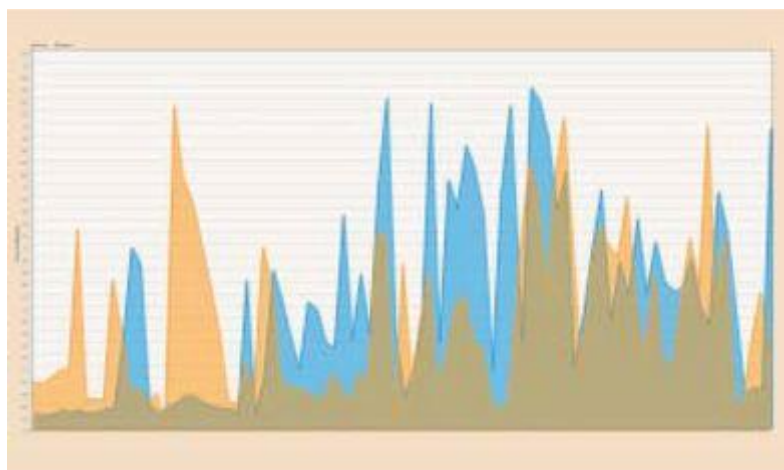


Рисунок 2.3 – Пример структуры трафика передачи данных

Если исходное видео содержит незначительное движение или изменение сцен, тогда MPEG должен давать очень высокие коэффициенты сжатия. Это основное применение для таких приложений, как видеотелефония. С другой стороны, если видеопоследовательность содержит резкие смены плана или изменения сцен, то коэффициент сжатия будет не так высок и может возникнуть "искусственность" изображения при дальнейшем просмотре.

Так как находящиеся внутри этого шаблона кадры мало отличаются друг от друга (передается только разница между ними), это приводит к существованию значительной корреляции их размеров. При передаче

следующего полного кадра корреляция между ними практически заканчивается. По этой причине видеотрафик достаточно сильно отличается от обычного трафика телекоммуникационных сетей. Поэтому выводы и модели, полученные для обычного сетевого трафика, не могут быть применены для анализа и моделирования видеотрафика.

Перегрузочное управление трафиком.

Под управлением самоподобным трафиком понимается регулирование трафика таким образом, чтобы эффективность сети (в том числе пропускная способность) была оптимальной. Масштабно-инвариантная структура трафика вносит новые сложности в общую картину, что делает задачу предоставления качества обслуживания (QoS) (совместно с достижением высокого коэффициента использования) гораздо более сложной. Самое главное заключается в том, что инвариантная к масштабу пульсирующая структура подразумевает существование периодов скученности высокой активности на грубых масштабах времени, что неблагоприятно воздействует на управление перегрузкой. Пульсирующая структура на грубых масштабах времени похожа на пульсирующую структуру, наблюдаемую для традиционных кратковременно-зависимых моделей трафика. Подобное свойство наблюдается на более грубых масштабах, где появляются дополнительные интервалы перегрузки или недоиспользования и снижения общей эффективности. Однако долговременная зависимость (по определению) подразумевает существование необычной корреляционной структуры, что может быть использовано для целей перегрузочного управления и не используется в существующих алгоритмах.

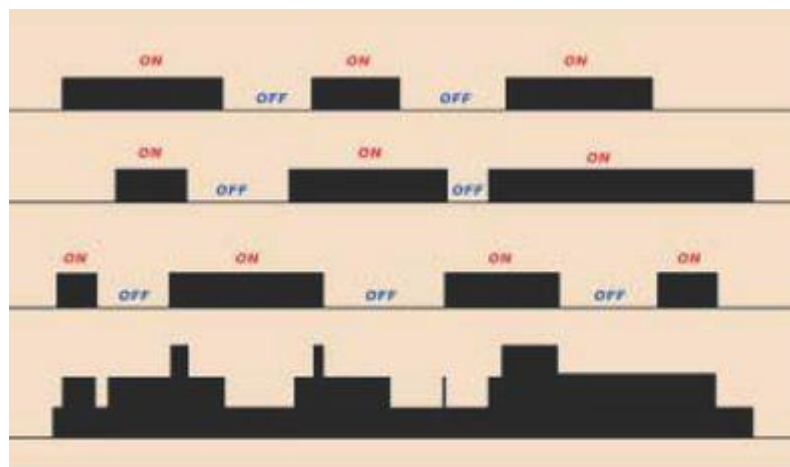


Рисунок 2.4 – Суммарный трафик от трех ON/OFF-источников

Механизм перегрузочного управления работает селективно, применяя агрессивность и используя предсказанное свойство, когда оно гарантировано, а также увеличивает скорость данных, если предсказан пониженный уровень конфликтных ситуаций, и повышает этот уровень конфликтных ситуаций.

Механизм селективной агрессивности дает преимущество даже в случае кратковременно-зависимого трафика. Тем не менее, этот механизм гораздо эффективнее при долговременно-зависимом трафике, что приводит к сравнительно большому выигрышу в производительности.

Предполагая, что будущее состояние сети предсказуемо с достаточной степенью точности, остается вопрос в том, что делать с этой информацией для улучшения сетевой эффективности. Выбор действий по большому счету ограничен сетевым контекстом и тем, какая степень свободы допустима. В традиционных настройках сквозной схемы перегрузочного управления сеть, которая разделяет ресурсы, рассматривается как черный ящик и для управления потоком доступна только одна переменная - интенсивность трафика.

Таким образом, пульсирующая структура (несмотря на пагубное влияние на эффективность сети, в частности на QoS) обладает строением, которое может быть использовано для ослабления негативного воздействия самоподобия трафика, и это следует учитывать. Резюмируя вышесказанное, можно сделать вывод, что чем трафик более долговременно-зависимый, тем более эффективно может быть использована его структура.

Выводы

Таким образом, в настоящем разделе проведён анализ основных направлений государственной политики Российской Федерации в области построения информационного общества, сформулированных в стратегии развития информационного общества. Показано, что в настоящее время осуществляется реализация данной стратегии в направлениях:

- создания равных возможностей по доступу к информации и информационно-коммуникационным технологиям (сети связи общего пользования, Интернет);

- повышения эффективности государственного управления, реализуемого путём создания в рамках ФЦП "Электронная РК (2002-2010 годы)" и Концепции региональной информатизации до 2010 года "электронного правительства" на федеральном и региональном уровнях, государственной автоматизированной системы управления приоритетными национальными

проектами;

- повышение качества образования и здравоохранения, реализуемого в рамках приоритетных национальных проектов "Образование", "Здоровье" и предполагающего обеспечение широкополосного доступа к сети Интернет, построения телемедицинской и образовательной сетей.

В целом развитие информационного общества и информационных систем различного назначения предъявляет ряд новых "революционных" требований к телекоммуникационным системам по видам, объёмам и качеству передаваемой информации, доступности обслуживания. Существенными факторами, также требующими развития телекоммуникационных систем (в первую очередь сетей фиксированной связи), являются:

- наличие в телефонной сети связи общего пользования значительного объёма морально и физически устаревшего (аналогового) оборудования;

- "насыщение" уровня развития телефонной сети связи общего пользования, при этом необходимое дальнейшее увеличение телефонной плотности возможно только за счёт удалённых малонаселённых территорий, подключение которых (реализация универсальных услуг связи) с использованием существующих технологий экономически невыгодно;

- динамичное развитие инфокоммуникационных услуг, предполагающих в том числе многокомпонентность (мультимедийность) передаваемой информации (голос, данные, видео - triple-play services) и многосвязное взаимодействие;

- динамичное развитие сети Интернет и распространение технологии виртуальных локальных сетей (VLAN) для объединения территориально-распределённых корпоративных сетей;

- внедрение подвижной связи третьего поколения (3G);

- переход на цифровые стандарты телерадиовещания DVB, увеличение количества и качества принимаемых населением телевизионных программ.

В соответствии с этим приоритетными направлениями эволюционного развития сетей фиксированной связи, как общего пользования, так и корпоративных являются: цифровизация транспортной сети связи и сетей доступа, расширение номенклатуры предоставляемых услуг и повышение их качества, конвергенция (объединение) сетей связи, интеграция услуг и сетей на основе концепции сетей связи следующего поколения.

В целом данные направления в условиях информатизации общества определили переход от построения узкоспециализированных выделенных сетей к мульти-сервисным сетям связи на основе концепции сетей связи следующего поколения. Последние обеспечивают предоставление широкого набора услуг с гибкими возможностями по их управлению, персонализации и созданию новых услуг за счёт унификации сетевых решений на основе разделения функций переноса и коммутации, управления вызовами и услугами. Это достигается четырёхуровневой архитектурой построения сетей связи следующего поколения, включающей уровень доступа, транспортный уровень, уровень управления вызовами, уровень управления услугами, а также применением на

каждом уровне открытых стандартов.

Транспортную основу сетей связи следующего поколения составляют сети передачи данных с коммутацией пакетов (быстрой коммутацией пакетов) IP, ATM, MPLS. При этом перспективная транспортная сеть связи будет строиться на основе связки протоколов IP/MPLS, реализующей для NGN концепцию All-IP ("всё по IP"). В настоящем разделе также показано, что рассматриваемые для построения транспортной сети телекоммуникационные технологии (IP, ATM, MPLS) различаются возможностями по предоставлению и интеграции различного спектра узкополосных и широкополосных услуг, а также обеспечению качества обслуживания. В современных условиях осуществляется процесс стандартизации сетевых механизмов обеспечения качества обслуживания, сближающий рассматриваемые телекоммуникационные технологии между собой. Уровень доступа образует сеть широкополосного доступа к транспортной сети и обеспечивает доведение услуг NGN до пользователей.

Распределённая архитектура управления вызовами в сетях связи следующего поколения включает центральный элемент - гибкий коммутатор (Softswitch), а также различное шлюзовое оборудование для сопряжения с сетями связи с коммутацией пакетов, с коммутацией каналов, сетями (системами) сигнализации. Для управления мультимедийными соединениями, а также для управления созданием новых услуг на основе IP-протокола реализуется подсистема IMS. При этом предоставление услуг следующего поколения реализуется с учётом требований информационной безопасности независимыми платформами услуг посредством открытых интерфейсов (OSA/Parlay, JAIN, VoiceXML), обеспечивающими, в отличие от традиционных сетей, их быстрое создание и внедрение, а также поддержку мобильности пользователей.

Наряду с этим в разделе проведён анализ архитектуры информационной безопасности, обеспечивающей требуемые уровни защиты инфраструктуры NGN и качества обслуживания в ней, а также основных стратегий (замещения, наложения, комбинированный) внедрения сетей связи следующего поколения на ЕСЭ РК.

В целом представленная в настоящем разделе архитектура построения сетей NGN обеспечивает при модернизации традиционных сетей связи:

- многокомпонентность (мультимедийность) передаваемой информации, позволяющую в рамках одного сеанса связи передавать любые комбинации информационных составляющих (голос, данные, видео - triple-play services);
- адаптивность сети к внедрению новых услуг с гибкими возможностями по их управлению;
- мобильность пользователя, позволяющую получать доступ к сети в любой сетевой точке в рамках возможностей, определяемых договором на подключение;
- единый способ передачи, обработки и коммутации информации, основанный на пакетных технологиях, позволяющих обеспечить выделение

любого требуемого пользователем ресурса в пределах сетевых возможностей, а также качество обслуживания из "конца в конец";

- межсетевое взаимодействие с традиционными сетями через открытые интерфейсы;

эффективность использования сетевых ресурсов и, соответственно, снижение себестоимости услуг связи на основе оптимизации передаваемого трафика, включая: сжатие речевой информации (табл. 1.4), статистическое мультиплексирование множества разнородных источников, а также разделение трафика сигнализации и информационного обмена пользователей, обеспечивающего локальное замыкание местного трафика при централизации управления вызовом.

3 Аналитический метод моделирования узла коммутации

3.1 Метод моделирования процессов функционирования узлов коммутации сетей связи следующего поколения при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов)

Выше на основе классической теории очередей получены точные решения для узлов коммутации NGN типа $\bar{M}_r/M/V/K$, $\bar{M}_r/M/V_r/K_r$ с коммутацией пакетов переменной (экспоненциальной) длины, ограниченным буфером, относительными приоритетами, резервированием ресурсов, учётом реальной надёжности обслуживающих приборов, что являлось оценкой показателей качества их функционирования на наихудший случай. Вместе с тем согласно спецификаций протоколов IP, ATM сообщения, поступающие в УК, разбиваются на пакеты фиксированной длины (кадры, пакеты, ячейки). При этом длительность обслуживания пакетов различных приоритетов - случайная величина с вырожденной ФР [31, 35, 54,]:

$$B(t) = \begin{cases} 1, & \text{при } t \geq b \\ 0, & \text{при } 0 \leq t < b, \end{cases} \quad (3.1)$$

и конечными первыми двумя моментами:

$$b = \int_0^{\infty} t dB(t) = \frac{1}{\mu}, \quad b^{(2)} = \int_0^{\infty} t^2 dB(t) \quad (3.2)$$

Данные факторы требуют разработки соответствующих моделей узлов коммутации типа $M_r/D/V/K$, $M_r/D/V_r/K_r$, что, в целом, позволит определять верхние и нижние граничные оценки показателей качества их

функционирования (на наихудший и наилучший случаи), задаваемые, соответственно, экспоненциальным и детерминированным временем обслуживания пакетов [21, 68, 75].

3.1.1 Структура метода моделирования процессов функционирования узлов коммутации при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов)

Для получения решения относительно детерминированного времени обслуживания пакетов в УК типа $M_2/D/V/K$, $M_2/D/V_r/K_r$, а также для исследования процессов функционирования узлов коммутации общего типа $G_r/G/V/K$, $G_r/G/V_r/K_r$ воспользуемся результатами полученными выше для УК типа $M_2/M/V/K$, $M_2/M/V_r/K_r$, а также:

- приближённым методом второго порядка - методом диффузионной аппроксимации [43,49,78];
- свойством эквивалентности систем обслуживания с конечным и бесконечным буфером при малых нормах потерь пакетов [43];
- методом инвариантов для приоритетных СМО - "законом сохранения накопленной в очереди работы" [49, 51, 59], -

которые в совокупности (рис. 3.1) составляют метод моделирования процессов функционирования УК сетей NGN при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов).

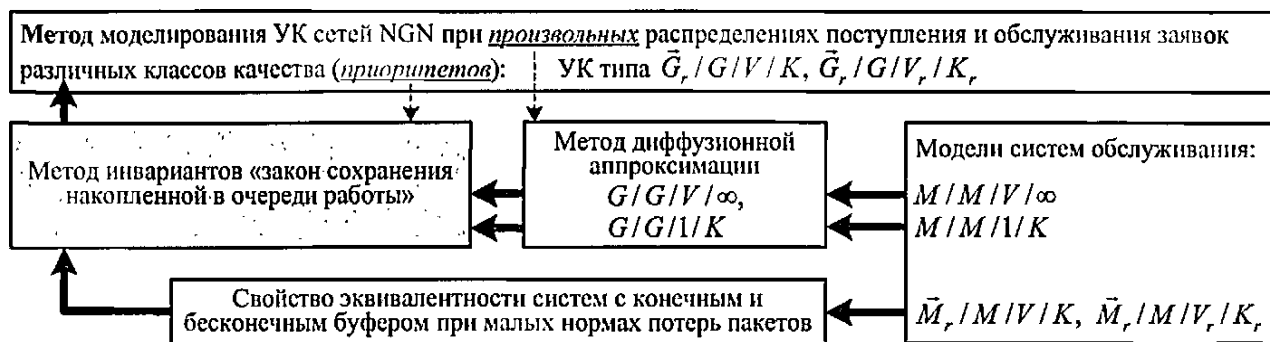


Рисунок 3.1 – Структура метода моделирования процессов функционирования УК сетей NGN при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов)

В результате в большинстве практических случаев можно перейти от громоздких точных решений систем уравнений к более простым, но робастным моделям, позволяющим исследовать свойства структурно сложных систем коммутации. Рассмотрим основные положения метода моделирования

процессов функционирования УК сетей NGN при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок классов качества (приоритетов) более подробно.

Метод диффузионной аппроксимации основывается на том, что дискретные процессы поступления и уходов обслуженных заявок аппроксимируются непрерывными вероятностными процессами, которые распределены по нормальному закону с известными средними значениями и дисперсией. При этом процессы ухода обслуженных заявок не будут зависеть от их поступлений при большом числе заявок в узле коммутации, то есть в условиях большой нагрузки (когда вероятность того, что в очереди нет требований незначительна).

В результате сделанных предположений число заявок в узле коммутации также является нормальным случайным процессом со средним значением и дисперсией, определяемыми законом сложения, который описывается отражённым броуновским движением. Получаемые при этом результаты справедливы для умеренной и большой нагрузки $0 < \rho < 1$ и улучшаются при $\rho \rightarrow 1$, что позволяет получить *верхнюю* границу показателей качества функционирования исследуемых процессов (на наихудший случай) [49].

На основе метода диффузионной аппроксимации в [43, 49] получен ряд фундаментальных результатов, которые позволяют исследовать показатели качества функционирования узлов коммутации общего вида, моделируемых *неприоритетными* СМО $G/G/V/K$, $V \geq 1$, $K \leq \infty$ с произвольными законами поступления и обслуживания заявок. К их числу относятся:

- средняя длина очереди в СМО $G/G/V/\infty$ (при $V = 1$ сходится к формуле Поллячека-Хинчина, то есть является точным для СМО $M/G/1/\infty$ [43, 48, 49]):

$$L = P_{i>V-1} \cdot \frac{\rho}{1-\rho} \cdot \frac{c_a^2 + c_b^2}{2}, \quad \rho \equiv \rho_R, \frac{\rho}{V} < 1, \quad (3.3)$$

В общем случае существует несколько приближений средней длины очереди на основе метода диффузионной аппроксимации [43, 49] (приложение В), которые эффективны для различных типов распределений входящего потока и времени обслуживания требований. Вместе с тем в данном разделе рассматриваются "классические" СМО с простейшим входящим потоком и произвольным распределением времени обслуживания, что обосновывает выбор в пользу данного точного решения на основе формулы Поллячека-Хинчина. Данная аппроксимация также эффективна и для СМО, характеризуемых большими значениями коэффициентов вариации распределений входящего потока и времени обслуживания пакетов [43].

Среднее время ожидания w пакетов в СМО $G/G/V/\infty$ (формула Литтла):

$$w = \frac{L}{\Lambda} = \frac{P_{i>V-1}}{\mu \cdot (1-\rho)} \cdot \frac{c_a^2 + c_b^2}{2}, \quad \rho \equiv \rho_R, \frac{\rho}{V} < 1, \quad (3.4)$$

- вероятность потерь пакетов для одноканальных СМО $G/G/1/K$ (сходится к формуле для СМО $M/M/1/K$):

$$P_{K+1} = \frac{1-\rho}{\frac{2 \cdot K}{c_a^2 + c_b^2} + 1} \cdot \rho^{\frac{2 \cdot K}{c_a^2 + c_b^2} + 1} \cdot 1 - \rho \quad (3.5)$$

В выражениях (3.4)-(3.5) $P_{i>V-1}$ характеризует вероятность того, что пакет, придя в систему, застанет все ОП занятыми (определяется второй формулой Эрланга), а C_a^2, C_b^2 – соответственно квадратичные коэффициенты вариации для распределений входящего потока и времени обслуживания пакетов.

При этом анализ полученных зависимостей (3.4), (3.5) показывает, что показатели качества функционирования СМО $G/G/V/K$, $V \geq 1$, $K \leq \infty$ определяются из исходных классических моделей и сходятся к ним при соответствующем выборе параметров C_a^2, C_b^2 (рис. 3.1). Кроме того, полученные решения по существу не зависят от законов распределения входящего потока и времени обслуживания и определяются только первыми двумя моментами данных распределений [49]. Данные свойства являются определяющими для проведения дальнейших исследований.

Для исследования показателей качества функционирования узлов коммутации $G/G/V/K$ с ограниченным буфером $K < \infty$, аналогичных воспользуемся свойством эквивалентности систем обслуживания с конечным и бесконечным буфером при малых нормах потерь пакетов [21, 43].

Свойство 3.1. При проектировании узлов коммутации с малыми нормах потерь (порядка $<10^{-3}$ [43]) размер буфера K не оказывает влияния на показатели качества его функционирования. В результате можно перейти от анализа УК с бесконечной очередью к приближенному анализу УК с конечным буфером.

При этом погрешность вычислений составляет порядка десятых долей процента и асимптотически уменьшается с увеличением K и уменьшением нормы потерь пакетов.

В качестве примера на рисунке 4.7 представлена зависимость вероятности потери пакетов в УК типа $M/M/1/K$, определяемая выражением (3.5) при $i = V + K$, $R = 1$, а также вероятности превышения заданного объема буфера в УК типа $M/M/1/\infty$, определяемая выражением $P_{K+1} = (1 - p) \cdot p^{K+1}$, $p < 1$ [54, 68].

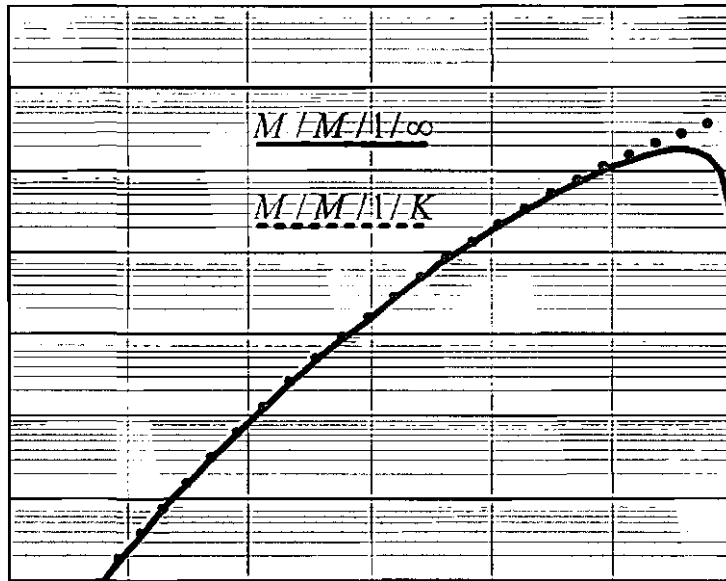


Рисунок 3.2 – Вероятность потери пакетов (превышения заданного объёма буфера) в УК типа $M/M/1/K$ ($M/M/1/\infty$)

Для получения решения относительно *приоритетных* СМО с произвольным распределением времени обслуживания заявок (пакетов) будем использовать "закон сохранения накопленной в очереди работы" [49, 51, 162], который утверждает следующее (свойство 3.1).

В СМО общего вида $\vec{G}_r/\vec{G}_r/1$ для любых дисциплин $\{\Phi\}$, не допускающих прерывания обслуживания и простоя обслуживающего прибора при наличии в системе заявок (пакетов), накопленная в очереди работа постоянна и равна накопленной работе в беспriorитетной СМО с суммарной нагрузкой:

$$\sum_r \rho_r^* \cdot w_r = \rho \cdot w = \text{const} \quad (3.6)$$

Дисциплина обслуживания с относительными приоритетами ϕ_0 принадлежит к классу дисциплин $\{\Phi\}$.

Это позволяет, зная среднее время ожидания обслуживания в УК с суммарной нагрузкой ρ_r (3.5), (3.6) по аналогии с рекуррентно рассчитать требуемые показатели качества функционирования УК общего вида $\vec{G}_r/G/V/K$, $\vec{G}_r/G/V_r/K_r$ (по приоритетам)

4.4.2 Модель узлов коммутации типа $\vec{G}_r/G/V/K$, $\vec{G}_r/G/V_r/K_r$ с относительными приоритетами и резервированием ресурсов. Применение разработанного метода для анализа показателей качества функционирования узлов коммутации типа $\vec{M}_r/D/V/K$, $\vec{M}_r/D/V_r/K_r$. Представленная структура (рис. 4.6) составляет суть метода моделирования процессов функционирования УК сетей NGN при произвольных распределениях

поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов), что позволяет определить основные показатели качества функционирования узлов коммутации общего типа $\vec{G}_r/G/V/K$, $\vec{G}_r/G/V_r/K_r$, а также их частных случаев узлов коммутации типа $\vec{M}_r/D/V/K$, $\vec{M}_r/D/V_r/K_r$ (при $C_a^2=1, C_b^2=0$).

Рассмотрим вывод зависимостей для основных показателей качества функционирования исследуемых УК более подробно.

Средняя длина очереди пакетов r -го приоритета в УК общего типа с относительными приоритетами $\vec{G}_r/G/V/K$ и относительными приоритетами и резервированием ресурсов $\vec{G}_r/G/V_r/K_r$ определяется рекуррентным выражением:

$$l_r = \begin{cases} L_r, & r = 1 \\ L_r - L_{r-1}, & r = 2, R, \end{cases} \quad L_r = \Lambda_r \cdot w_r^* \cdot \frac{C_a^2 + C_b^2}{2}, \quad (3.7)$$

где w_r^* - среднее время ожидания обслуживания в узле коммутации с суммарной входящей нагрузкой ρ_r (без учёта приоритетов), определяемое выражениями (3.6) и (3.7), соответственно; $0 < \rho_R < 1$ - условие области определения метода диффузионной аппроксимации, обеспечивающее получение стационарных характеристик функционирования УК.

Средняя длина очереди пакетов r -го приоритета в УК типа $\vec{M}_r/D/V/K$ ($\vec{M}_r/D/V_r/K_r$) с коммутацией пакетов фиксированной длины относительными приоритетами (относительными приоритетами и резервированием ресурсов) определяется аналогичным выражением при $C_a^2 = 1, C_b^2 = 0$.

Доказательство. С целью определения средней длины очереди пакетов по приоритетам предварительно перепишем выражение (3.8) на основании формулы Литтла:

$$L = \Lambda \cdot w \cdot \frac{C_a^2 + C_b^2}{2}, \quad (3.8)$$

где w - среднее время ожидания обслуживания в узле коммутации с суммарной входящей нагрузкой $\rho \equiv \rho_R < 1$ (без учёта приоритетов).

Тогда согласно "закону сохранения" и свойству 3.1 об эквивалентности УК с конечным и бесконечным буфером при малых нормах потерь пакетов средняя суммарная длина очереди пакетов с приоритетами $\overline{1, r}$ определяется выражением:

$$L_r = \Lambda_r \cdot w_r^* \cdot \frac{C_a^2 + C_b^2}{2} \quad (3.9)$$

где, по аналогии с (3.9), w_r^* - среднее время ожидания обслуживания в

узле коммутации с суммарной входящей нагрузкой p_r (без учёта приоритетов), определяемое выражениями (3.8) и (3.9) для УК с относительными приоритетами, а также относительными приоритетами и резервированием ресурсов, соответственно.

Полученное выражение (3.9) позволяет на основе рекуррентной формулы записать искомое выражение для средней длины очереди пакетов r -го приоритета:

$$l_r = \begin{cases} L_r, & r = 1 \\ L_r - L_{r-1}, & r = \overline{2, R}, \end{cases} \quad (3.10)$$

определяемой как разность между средней длиной очереди в УК с суммарной входящей нагрузкой ρ_r и средней длиной очереди в УК с суммарной входящей нагрузкой ρ_{r-1} , что и требовалось доказать.

В свою очередь полученное выражение (3.10) позволяет также на основании формулы Литтла записать выражение для среднего времени ожидания пакетов r -го приоритета в исследуемых узлах коммутации:

$$w_r = l_r / \lambda_r \quad (3.11)$$

При этом среднее время пребывания пакетов r -го приоритета в УК типа $\overrightarrow{M}_r/D/V/K$, $\overrightarrow{M}_r/D/V_r/K_r$ определяется выражениями аналогичными (3.5), (3.8), соответственно.

Для определения джиттера задержки пакетов $\sigma(t_{\text{пп}}(r))$ в УК типа $\overrightarrow{G}_r/G/V/K$, $\overrightarrow{G}_r/G/V_r/K_r$ необходимо воспользоваться зависимостью (3.8), в которой второй момент среднего времени пребывания пакетов r -го приоритета $t_{\text{пп}}^{(2)}(r)$ определяется по аналогии с (3.8) формулой:

$$t_{\text{пп}}^{(2)}(r) = \left(\frac{c_a^2 + c_b^2}{2} \right)^2 \cdot w_r^{(2)} + 2 \cdot w_r \cdot b + b^{(2)}, \quad (3.12)$$

где, в свою очередь, $w_r^{(2)}$ определяется выражениями (3.12), а также (3.13) или (3.10), w_r – выражением (3.11).

$\overrightarrow{M}_r/D/V_r/K_r$, включая среднюю длину очереди, среднее время ожидания обслуживания и среднее время пребывания пакетов r -го приоритета, реализуется на основе формулы полной вероятности по всем вариантам распределения числа исправных каналов E_k , $k = \overline{0, V}$ (3.12) и условиям (вероятностям) их наступления.

Утверждение 3.3. Вероятность потери пакетов различных приоритетов в УК общего типа с относительными приоритетами $\overrightarrow{G}_r/G/V/K$ и относительными приоритетами и резервированием ресурсов $\overrightarrow{G}_r/G/V_r/K_r$ определяется соответственно выражениями:

$$P_{V+K}(r) = P_{i>V-1}(R, V) \cdot \frac{1 - \frac{\rho r}{V}}{1 - \left(\frac{\rho r}{V}\right)^{\frac{2 \cdot K}{c_a^2 + c_b^2} + 1}} \cdot \left(\frac{\rho r}{V}\right)^{\frac{2K}{c_a^2 + c_b^2}}, \quad (3.13)$$

$$P_{V_r + K_r}(r) = P_{i>V_r-1}(R, V_r) \cdot \frac{1 - \frac{\rho r}{V_r}}{1 - \left(\frac{\rho r}{V_r}\right)^{\frac{2 \cdot K_r}{c_a^2 + c_b^2} + 1}} \cdot \left(\frac{\rho r}{V_r}\right)^{\frac{2 \cdot K_r}{c_a^2 + c_b^2}}, \quad (3.14)$$

где $P_{i>V}(R, V)$, $P_{i>V_r}(R, V)$ характеризуют вероятность того, что обслуживающий прибор занят обслуживанием пакетов суммарного потока ρ_R и определяются выражениями (4.9), (4.53); $0 \leq \rho_R < 1$ - условие области определения метода диффузионной аппроксимации (п. 4.4.1), обеспечивающее получение стационарных характеристик функционирования УК.

Вероятность потери пакетов различных приоритетов в УК типа $\vec{M}_r/D/V/K$ / $(\vec{M}_r/D/V_r/K_r)$ коммутацией пакетов фиксированной длины относительными приоритетами (относительными приоритетами и резервированием ресурсов) определяется аналогичными выражениями при $C_a^2 = 1, C_b^2 = 0$.

Доказательство. С целью определения вероятности потери пакетов различных приоритетов в УК типа $\vec{G}_r/G/V/K$ предварительно перепишем выражение (4.66) в следующем виде:

$$P_{K+1} = P_{i>0} \cdot \frac{1 - \rho}{\frac{2 \cdot K}{c_a^2 + c_b^2} + 1} \cdot \rho^{\frac{2 \cdot K}{c_a^2 + c_b^2}} \quad (3.16)$$

что характеризует вероятность выполнения совместного события: и обслуживающий прибор (с вероятностью $P_{i>0} = \rho$ и буфер заняты обслуживанием пакетов. Данная форма записи выражения для вероятности потери пакетов определяет **инвариант отношения** между неприоритетными и приоритетными (не допускающими прерывания обслуживания) системами обслуживания.

Переписав с учётом (3.12) выражение (3.13) для случая $V > 1$:

$$P_{V+K} = P_{i>V-1} \cdot \frac{1 - \frac{\rho}{V}}{1 - \left(\frac{\rho}{V}\right)^{\frac{2 \cdot K}{c_a^2 + c_b^2} + 1}} \cdot \left(\frac{\rho}{V}\right)^{\frac{2 \cdot K}{c_a^2 + c_b^2}}, \quad (3.17)$$

МОЖНО на основании свойства 4.2 (п. 4.2.1) определить искомую вероятность потери пакетов различных приоритетов в УК:

$$P_{V+K}(r) = P_{i>V-1}(R, V) \cdot \frac{1 - \frac{\rho r}{V}}{1 - \left(\frac{\rho r}{V}\right)^{\frac{2 \cdot K}{c_a^2 + c_b^2} + 1}} \cdot \left(\frac{\rho r}{V}\right)^{\frac{2 \cdot K}{c_a^2 + c_b^2}}. \quad (3.18)$$

Последнее выражение характеризует выполнение совместного события, заключающегося в том, что согласно свойству 3.2:

-обслуживающие приборы заняты обслуживанием пакетов *суммарного* потока ρ_R - вероятность данного события $P_{i>V}(R, V) = Q$ определяется выражением (3.9), полученным для экспоненциального времени обслуживания пакетов;

- буфер занят пакетами с более высоким и/или равным приоритетом.

Проверка выражения (3.15) для случая экспоненциального распределения длины пакетов (при $C_a^2 = 1, C_b^2 = 1$) показывает совпадение результатов с ранее полученными точными выражениями для $P_{V+K}(r, V)$ (3.12)

Тогда по аналогии с (3.19) для УК типа $\vec{G}_r/G/V_r/K_r$ с относительными приоритетами и резервированием ресурсов вероятность потери пакетов различных приоритетов определяется выражением:

$$P_{V_r+K_r}(r) = P_{i>V_r-1}(R, V) \cdot \frac{1 - \frac{\rho r}{V_r}}{1 - \left(\frac{\rho r}{V_r}\right)^{\frac{2 \cdot K_r}{c_a^2 + c_b^2} + 1}} \cdot \left(\frac{\rho r}{V_r}\right)^{\frac{2 \cdot K_r}{c_a^2 + c_b^2}}. \quad (3.19)$$

где вероятность $P_{i>V_r}(R, V) = Q$ определяется выражением (3.19), также полученным для экспоненциального времени обслуживания пакетов.

На основе полученных результатов (3.16), (3.18) можно определить вероятность отказа в обслуживании пакетов r -го приоритета $P_{отк}(r, V)$ для надёжных (3.13), (3.14) и ненадёжных (3.7) обслуживающих приборов, соответственно.

Свойство 4.4. Распределение времени ожидания заявок в СМО общего типа $G/G/V_\infty$ в условиях большой загрузки имеет показательный характер, что "составляет содержание в некотором смысле центральной предельной теоремы теории массового обслуживания [49]". Аналогичное свойство верно и для СМО $\vec{M}_r/\vec{G}_r/1/\infty$ с относительными приоритетами [52].

Тогда, с учётом выбранного варианта приближения (3.17)-(3.15), искомое распределение имеет вид

$$W(t) \approx 1 - \exp\left(-\frac{\mu \cdot (1 - \rho)}{P_{i>V-1}} \cdot \frac{2}{c_a^2 + c_b^2} \cdot t\right), \quad t \geq 0, \quad (3.20)$$

что согласуется с полученным ранее выражением (3.211) для среднего времени ожидания заявок:

$$w = \int_0^{\infty} t \cdot w(t) dt = \frac{P_{i>V-1}}{\mu \cdot (1-\rho)} \cdot \frac{C_a^2 + C_b^2}{2}, \quad (3.21)$$

где $w(t) = W'(t)$.

Учёт влияния конечной (реальной) надёжности ОП на показатели качества функционирования исследуемых узлов коммутации реализуется на основе формулы полной вероятности по всем вариантам распределения числа исправных каналов $E_k, k = \overline{0, V}$ (3.21) и условиям (вероятностям) их наступления (п. 4.2.4).

Таким образом, в настоящем подразделе разработан метод моделирования процессов функционирования узлов коммутации сетей NGN при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов). Разработанный метод основывается на результатах моделей узлов коммутации с относительными приоритетами при совместном использовании $\vec{M}_r/M/V/K$ и резервировании ресурсов $\vec{M}_r/M/V_r/K_r$, а также на применении методов диффузионной аппроксимации и инвариантов ("закон сохранения накопленной в очереди работы"), свойства эквивалентности систем с конечным и бесконечным буфером при малых нормах потерь пакетов.

На основе разработанного метода для УК общего вида $\vec{G}_r/G/V, /K$, $\vec{G}_r/G/V_r/K_r$, а также их частного случая - узлов коммутации типа $\vec{M}_r/D/V /K$, $\vec{M}_r/D/V_r/K_r$ (при $C_a^2 = 1, C_b^2 = 0$) получены основные показатели качества функционирования (по приоритетам): средняя длина очереди, среднее время ожидания обслуживания, среднее время пребывания пакетов, джиттер задержки пакетов, а также ВСД и вероятность потери пакетов.

В силу независимости полученного решения по оптимизации приоритетов от вида ФР длительности обслуживания пакетов и интенсивностей входящих потоков (п. 4.2.3) назначение приоритетов также осуществляется на основе первого момента длительности обслуживания пакетов (сообщений) различных классов и требований к времени их доставки. При одинаковой длине пакетов различных классов качества обслуживания, назначение приоритетов осуществляется только на основе требований к времени их доставки в сети.

3.2 Исследование процессов функционирования узлов коммутации сетей связи следующего поколения при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов)

Как показано выше сети связи следующего поколения обеспечивают широкие возможности по предоставлению и интеграции широкого спектра как традиционных (узкополосных), так и новых (Next Generation Service) услуг. При этом объединение разнородного трафика в узлах коммутации в ряде

случаев приводит к возникновению у него новых свойств, отличающихся от свойств широко применяемого в практике исследований простейшего потока. В данных условиях для обеспечения качества обслуживания в процессе передачи разнородного трафика в сетях NGN, построенных на основе применения технологий IP, ATM, MPLS, применяются общие методы на основе введения классов качества и реализации для них единых способов управления, включая приоритезацию трафика, организацию очередей, резервирование ресурсов и др. (табл. 2.1).

Данные факторы, в совокупности, требуют адекватного развития теоретических основ [17, 18, 31-33, 36-38] в области исследования процессов функционирования узлов коммутации сетей NGN при произвольных распределениях поступления и обслуживания (с относительными приоритетами и резервированием ресурсов) заявок различных классов качества. Вместе с тем данные исследования начнём с разработки соответствующих классических моделей теории очередей с простейшими потоками, относительными приоритетами и резервированием ресурсов, что обусловлено фундаментальностью получаемых для них результатов и, как следствие, возможностью распространения последних на более общие модели узлов коммутации, в том числе с самоподобной (пачечной) структурой трафика.

3.2.1 Основные ограничения и допущения. Пусть в исследуемой сети NGN предоставляемые услуги разбиты на несколько классов качества обслуживания (QoS), которые имеют соответствующие приоритеты по задержке и потерям пакетов (например, телефония, передача данных, видеоконференцсвязь, см. п. 2.3.3). Приоритеты в сетях связи следующего поколения могут также назначаться для различных категорий пользователей и подсистем (сигнализации, управления и др.) - модель дифференцированных услуг. Пусть общее число приоритетов для видов услуг, категорий пользователей и подсистем составляет R (2.6).

В соответствии с этим в УК NGN, представляемые шлюзами, контроллерами шлюзов, коммутаторами и маршрутизаторами транспортной сети (рисунок 4.1, п.п. 1.2-1.5), от пользователей различных категорий и подсистем поступают потоки сообщений различных классов. Интенсивности поступления и обслуживания сообщений характеризуются параметрами $\lambda_c(r)$, $\mu_c(r)$, $r = \overline{1, R}$, соответственно, скорость поступления (передачи) сообщений - $v_{\text{прд}}(r)$. При этом поступающие в УК сообщения преобразуются в пакетную форму и образуют R независимых потоков пакетов $\{a_1, \dots, a_r, \dots, a_R\}$ с интенсивностями $\{\lambda_1, \dots, \lambda_r, \dots, \lambda_R\}$.

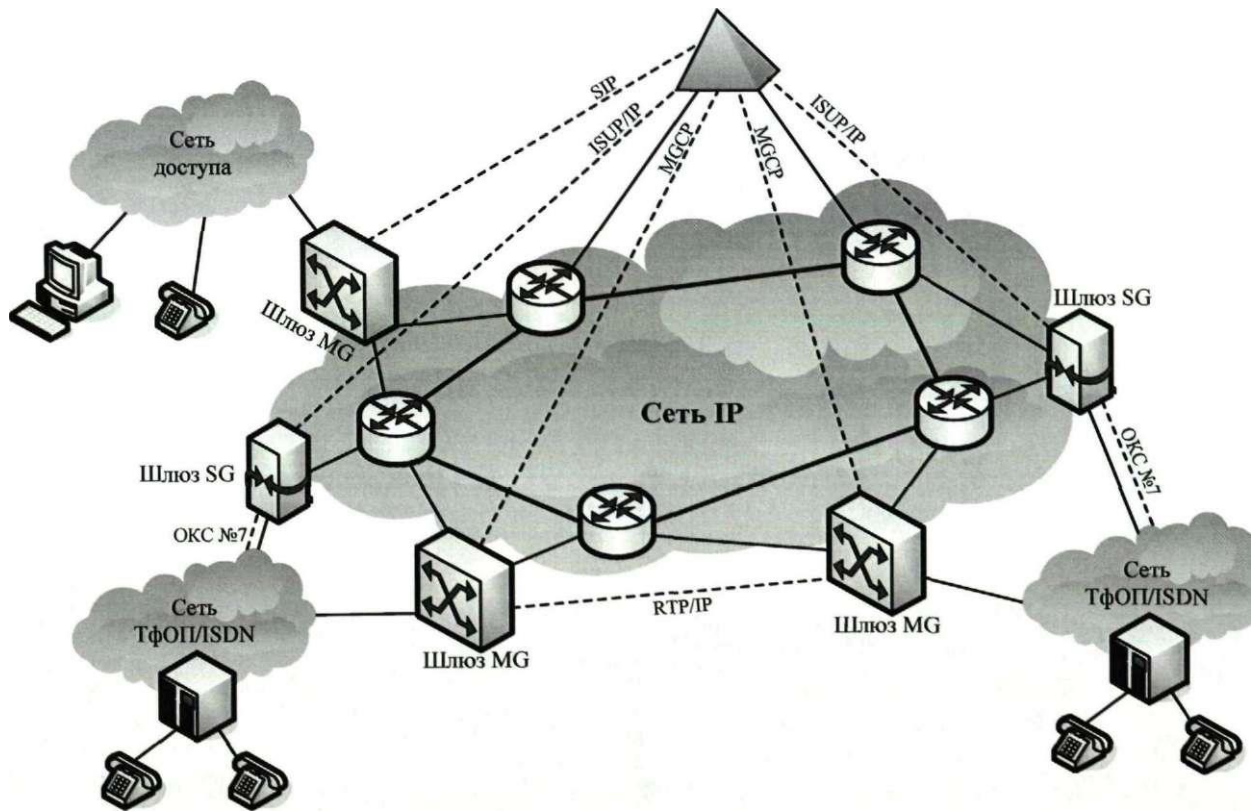


Рисунок 3.2 - Элементы сети связи следующего поколения (стратегия построения наложенной сети)

Рассмотрим наиболее общий случай построения узла коммутации (рис. 4.2), соответствующего элементам сети NGN, представленным на рисунке 4.1. Пусть УК состоит из $1 \leq V < \infty$ обсуживающих приборов (каналов передачи) с одинаковой пропускной способностью, определяемой из номинального ряда скоростей (п. 2.4). В нём также имеется общий для пакетов различных приоритетов буфер ограниченного объёма K : $0 < K < \infty$.

Обслуживание поступающих потоков пакетов $\{a_1, \dots, a_r, \dots, a_R\}$ в УК производится с относительными приоритетами, что обусловлено простотой реализации (не допускается прерывание обслуживания) и эффективностью данной дисциплины, особенно в условиях ограниченной пропускной способности сети.

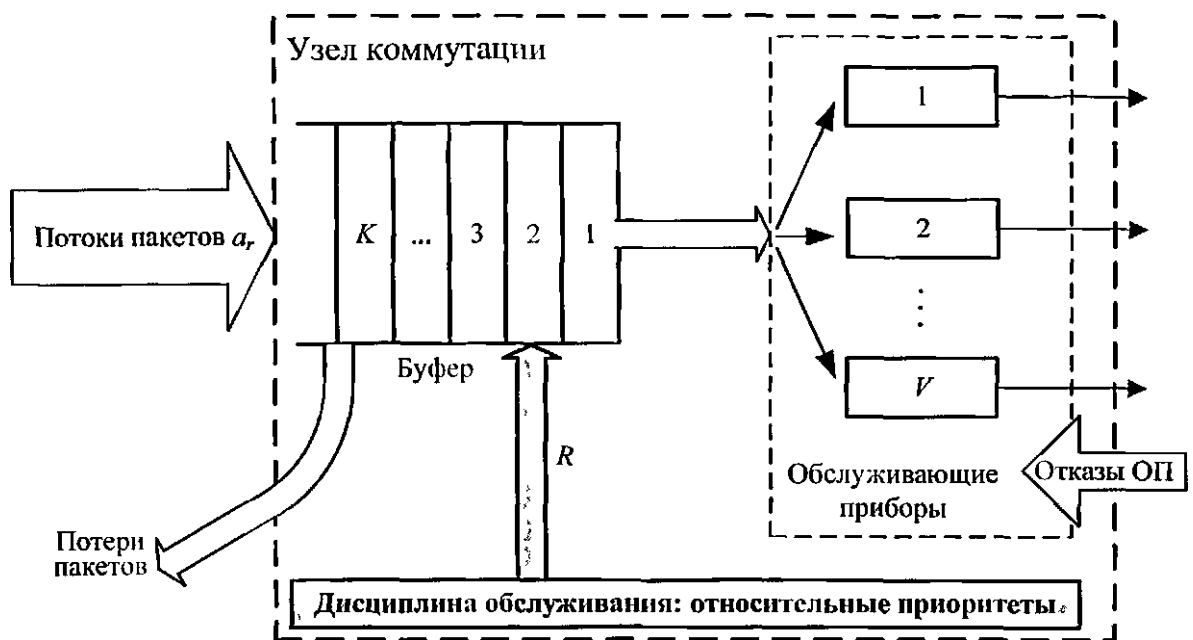


Рисунок 3.3 - Структура исследуемой модели узла коммутации сети NGN с относительными приоритетами

При этом следует отметить, что обслуживание очередей с относительными приоритетами обладает важным свойством, сформулированным Клейнроком в виде "закона сохранения накопленной в очереди работы" [49, 51, 162]. Данное свойство будет широко использоваться в ходе дальнейшей работы с целью получения решений для узлов коммутации NGN при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов).

Свойство 3.4. "Закон сохранения накопленной в очереди работы". В системах массового обслуживания (СМО) общего вида $\vec{G}_r/\vec{G}_r/1$ для любых дисциплин $\{\Phi\}$, не допускающих прерывания обслуживания и простоя обслуживающего прибора при наличии в системе заявок (пакетов), накопленная в очереди работа постоянна и равна накопленной работе в беспriorитетной СМО с суммарной нагрузкой:

$$\sum_{r=1}^R \rho_r^* \cdot w_r = \rho \cdot w = const. \quad (3.22)$$

Дисциплина обслуживания с относительными приоритетами ϕ_0 принадлежит к классу дисциплин $\{\phi\}$.

В выражении (3.1) приняты следующие обозначения: ρ_r^* - интенсивность нагрузки r -го приоритета; ρ - интенсивность суммарной нагрузки; w_r - среднее время ожидания пакетов r -го приоритета; w - среднее время ожидания пакетов в беспriorитетной СМО с суммарной нагрузкой ρ . При этом равенство (3.1) означает, что взвешенная сумма времени ожидания заявок (пакетов) различных приоритетов в СМО никогда не изменяется вне зависимости от способа

нумерации приоритетов.

В заключение отметим следующее. Согласно общей постановке задачи сеть NGN может быть неоднородной по своей структуре, в различных компонентах которой (в УК транспортной сети и сети доступа) циркулируют потоки пакетов различных классов $r \in R$. В данных условиях для моделирования процессов функционирования узлов коммутации могут использоваться как "классические" модели СМО (в случае объединения в конкретном компоненте сети трафика только узкополосных услуг) [21], так и модели, учитывающие самоподобную структуру объединённого мультисервисного трафика [56-66].

Кроме того, "классические" модели в ряде практических случаев могут служить теоретической основой для получения соответствующих моделей обслуживания самоподобного трафика [58, 61, 66]. В результате без соответствующей проработки "классических" моделей СМО в области приоритетных систем с произвольными законами обслуживания заявок невозможно получить соответствующие результаты и в области обслуживания самоподобного трафика.

Данные факторы определяют этапы исследования процессов функционирования УК сети МОИ на основе "классических" моделей СМО, которые включают:

- разработку модели УК типа $\vec{M}_r/M/V/K$ с простейшими входящими потоками, коммутацией пакетов переменной (показательной) длины, ограниченным буфером, управлением качеством обслуживания разнородного трафика на основе *относительных приоритетов*, учётом реальной надёжности обслуживающих приборов (ОП);

- разработку моделей УК типа $\vec{M}_r/M/V_r/K_r$ с простейшими входящими потоками, коммутацией пакетов переменной (показательной) длины, ограниченным буфером, управлением качеством обслуживания разнородного трафика на основе *относительных приоритетов и резервирования ресурсов*, учётом реальной надёжности обслуживающих приборов;

- разработку метода моделирования процессов функционирования УК типа $\vec{G}_r/C/V/K$ при *произвольных* распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов);

- разработку моделей УК типа $\vec{M}_r/D/V/K$, $\vec{M}_r/D/V_r/K_r$ с простейшими входящими потоками, коммутацией пакетов *фиксированной* длины, ограниченным буфером, управлением качеством обслуживания разнородного трафика на основе *относительных приоритетов и резервирования ресурсов*, учётом реальной надёжности обслуживающих приборов определение верхних и нижних граничных оценок показателей качества функционирования УК сети связи следующего поколения.

3.3 Модель узлов коммутации типа $\vec{M}_r/M/V/K$ с относительными

приоритетами и учётом реальной надёжности обслуживающих приборов

3.3.1 Описание процессов функционирования узла коммутации. В соответствии со сделанными выше предположениями о неоднородности построения NGN в ряде компонентов сети, особенно на начальных этапах её построения, при объединении только низкоскоростного трафика (рис. 4.1), создаются условия для использования моделей простейших потоков [21]. Это обусловлено тем, что взаимное наложение большого числа малых независимых ординарных стационарных (нестационарных) потоков с различным последствием (*теорема Хинчина*) [48, 54], а также преобразование потоков в сети (суммирование, просеивание) [54] в пределе даёт поток близкий к простейшему:

$$a_r = a_r(t) = 1 - \exp[-\lambda_r \cdot t], \quad \lambda_r \geq 0, t \geq 0 \quad (3.23)$$

где λ_r - параметр потока, определяемый исходя из параметров обработки сообщений (приведённый к параметрам передачи [18]) следующим выражением:

$$\lambda_r = \lambda_c(r) \cdot q(r) \cdot \eta_r \quad (3.24)$$

В выражении (3.23) $q(r) = [\mu_c(r) \cdot t_{\text{сегм}}(r)]^{-1}$ - среднее число пакетов в сообщении r -го приоритета; $[a]$ - наименьшее целое число, превышающее a ; $t_{\text{сегм}}(r) = L(r)/v_{\text{прд}}(r)$ - среднее время сегментации пакетов r -го приоритета; $L(r)$ - длина информационной части пакета r -го приоритета; $v_{\text{прд}}(r)$ - скорость передачи (обработки) информации r -го приоритета; $\eta_r = L_{\text{пак}}(r)/L(r)$ - накладные расходы на пакетное преобразование; $L_{\text{пак}}(r)$ - длина пакета r -го приоритета.

При поступлении в сеть сообщения различных классов (речь, данные, видео, информация сигнализации, управления и др.) разбиваются на пакеты различной длины $L(r)$, при ограничении их максимального размера, что в общем случае (для проведения расчётов на *наихудший* случай) позволяет использовать показательное приближение длительности их обслуживания [32, 36, 38]. Тогда длительность обслуживания пакетов приоритетов $r = \overline{1, R}$ случайная величина с функцией распределения (ФР):

$$B(t) = 1 - \exp\left(-\frac{t}{b}\right), \quad b \geq 0, \quad t \geq 0, \quad (3.25)$$

и конечными первыми двумя моментами:

$$b = \int_0^{\infty} t dB(t) = \frac{1}{\mu}, \quad b^{(2)} = \int_0^{\infty} t^2 dB(t) = \frac{2}{\mu^2}, \quad \mu = \sum_{r=1}^R \frac{\lambda_r}{\Lambda_R} \cdot \frac{V_{\text{прд}}(r)}{L_{\text{пак}}(r)},$$

где μ – средняя² интенсивность обслуживания пакетов — данное ограничение, определяющее независимость μ от r -, обусловлено условием идентичности всех V обслуживающих приборов, при этом $v_{\text{прд}}(r)$ определяется номинальным рядом скоростей используемых цифровых каналов передачи $\{V \times 64, V \times 2048, \dots\}$ кбит/с.

В узле коммутации реализуется следующая дисциплина обслуживания.

Если в момент поступления пакета с любым приоритетом $r = \overline{1, R}$ имеются свободные каналы (состояние узла коммутации $0 \leq i \leq V - 1$), то он немедленно поступает на обслуживание.

В случае занятости всех каналов (состояние узла коммутации $V \leq i < V + K$) поступивший пакет l -го приоритета становится в очередь и принимается на обслуживание раньше пакета j -го приоритета, если $l < j$. Если в момент поступления пакета l -го приоритета в очереди имелось K -пакетов (буфер заполнен полностью), то поступивший пакет:

- принимается в очередь при условии, что в ней имеются пакеты с более низким j -м приоритетом, при этом последний пакет с низшим приоритетом вытесняется из системы и, в последующем, не оказывает на неё никакого влияния;
- теряется при условии, что в очереди имеются только пакеты с более высоким и/или равным r -м приоритетом.

Пакеты r -го приоритета, находящиеся в очереди, обслуживаются в порядке их поступления.

Свойство 3.5. В результате, согласно принятой дисциплине обслуживания (п.п. а, б, в) в узле коммутации, при постановке пакетов в очередь и управлении очередью, действуют абсолютные, а при обслуживании - относительные приоритеты. Применение абсолютных приоритетов только для управления очередью обеспечивает обслуживание пакетов без прерываний, но при этом минимизируются потери и среднее время ожидания приоритетных пакетов.

Для моделирования и анализа показателей качества функционирования узлов коммутации данного типа будем использовать "классическую" модель многоканальной СМО $\vec{M}_r/M/V/K$.

3.3.2 Анализ показателей качества функционирования узлов коммутации. Стационарное распределение вероятностей состояний Изменение состояний УК типа $\vec{M}_r/M/V/K$ может быть описано процессом размножения и гибели [67, 68, 81, 166], представленным на рисунке 3.4 В соответствии с принятой дисциплиной обслуживания (п. 3.2.1) последовательно определим стационарное распределение вероятностей для состояний УК: $0 \leq i \leq V - 1$, $V \leq i \leq V + K$.

Для состояний $0 \leq i \leq V - 1$ анализируемый узел коммутации можно рассматривать как бесприоритетный (УК типа $M/M/V/K$) с суммарным входящим потоком Λ_R .

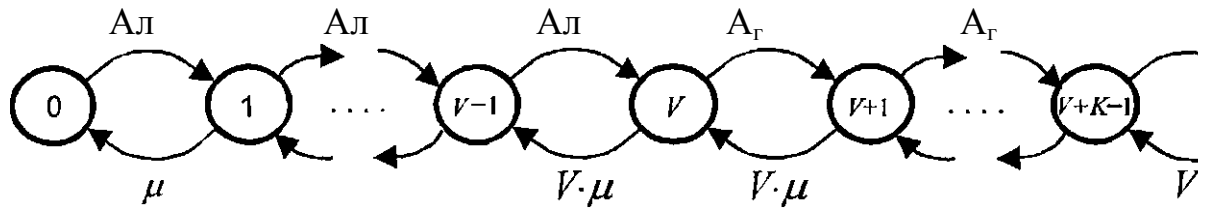


Рисунок 3.4 - Диаграмма состояний и переходов УК типа $\vec{M}_r/M/V/K$

Тогда для установившегося режима функционирования УК, исходя из диаграммы состояний и переходов (рис. 3.4), запишем систему уравнений локального баланса [66]:

$$\Lambda_R \cdot P_i(R, V) = (i + 1) \cdot \mu \cdot P_{i+1}(R, V), \quad i \geq 0 \quad (3.27)$$

где $P_i(R, V)$ - вероятность того, что в V -канальном УК в произвольный момент времени находится i пакетов с приоритетами $\overline{1, R}$. Параметр V в распределение вероятностей $P_i(R, V)$ дополнительно введён с целью получения его сокращённой записи при последующем (п. 4.2.4) учёте надёжности ОП, описываемой при моделировании переменным числом исправных ОП (каналов) $\overline{1, V}$.

Рекуррентно решая систему уравнений (3.27) относительно $P_0(R, V)$ получим стационарное распределение вероятностей состояний УК типа $\vec{M}_r/M/V/K$:

$$P_i(R, V) = \frac{\rho_R^i}{i!} \cdot P_0(R, V), \quad 0 \leq i \leq V - 1, \quad (3.28)$$

где $\rho_R = \Lambda_R/\mu$ - интенсивность суммарной входящей нагрузки; $P_0(R, V)$ - стационарная вероятность того, что в V -канальном УК с суммарной входящей нагрузкой ρ_R нет пакетов:

$$P_0(R, V) = \left[\sum_{m=0}^V \frac{\rho_R^m}{m!} + \frac{\rho_R^V}{V!} \cdot \sum_{m=1}^K \left(\frac{\rho_R}{V} \right)^m \right]^{-1}, \quad (3.29)$$

определяемая из условий нормировки: $\sum_{i=0}^{V+K} P_i(r, V) = 1$. Так как приоритеты в УК относительные, то распределение вероятностей (3.11), (3.12) для состояний $0 \leq i \leq V - 1$ зависит (рис. 3.4) от суммарной входящей нагрузки ρ_R (по всем видам услуг и категориям пользователей). Используя зависимости (3.11), (3.12), можно определить вероятность того, что все ОП (каналы) УК типа $\vec{M}_r/M/V/K$ заняты:

$$Q = 1 - \sum_{i=0}^{V-1} P_i(R, V) \quad (3.30)$$

Перейдём к определению стационарного распределения вероятностей для состояний $V \leq i \leq V + K$ анализируемого узла коммутации сети NGN. Как было показано выше (свойство 4.2), достигнув состояния $i = V - 1$, в системе изменяется дисциплина обслуживания:

- при постановке пакетов в очередь и управлении очередью вводятся абсолютные приоритеты;

- при обслуживании пакетов действуют относительные приоритеты. Тогда для описания процессов управления очередью, используя

диаграмму состояний и переходов (рис. 4.3), можно записать систему уравнений локального баланса [67, 68]:

$$\Lambda_r \cdot P_{i-1}(r, V) = V \cdot \mu \cdot P_i(r, V), \quad V \leq i \leq V + K \quad (3.31)$$

Условие нормировки для (4.10) получается с учётом начального распределения вероятностей состояний в УК типа $M / M / V / K$ (3.11)-(3.12):

$$\sum_{i=0}^{V-1} P_i(R, V) + \sum_{i=V}^{V+K} P_i(r, V) = 1 \Rightarrow \sum_{i=V}^{V+K} P_i(r, V) = Q. \quad (3.32)$$

Рекуррентно решая уравнения (3.12), (3.13) относительно Q при условии, что $0 < \rho_r < \infty$, получим стационарное распределение вероятностей состояний $V \leq i \leq V + K$ в УК типа $\vec{M}_r / M / V / K$. При этом, объединив полученное решение с (4.7), можно окончательно записать распределение вероятностей состояний в УК типа $\vec{M}_r / M / V / K$:

$$P_i \begin{cases} \frac{\rho_r^i}{i!} \cdot P_0(R, V), & 0 \leq i < V, \\ Q \cdot \left(\frac{\rho_r}{V}\right)^{i-V} \cdot \left(1 - \frac{\rho_r}{V}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{\rho_r}{V}\right)^{K+1}\right]^{-1}, & \rho_r \neq V, V \leq i \leq V + K, \\ \frac{Q}{K+1}, & \rho_r = V, V \leq i \leq V + K, \end{cases} \quad (3.33)$$

которое характеризует, что в V -канальном УК в произвольный момент времени находится i пакетов с приоритетами $\overline{1, r}$, $r = \overline{1, R}$. В выражении (3.23) $\rho_r = \Lambda_r / \mu$ - интенсивность суммарной нагрузки с приоритетом $\overline{1, r}$.

В связи с тем, что все состояния рассматриваемого многоканального УК (рис. 3.4) сообщающиеся, а их число - конечно ($0 \leq i \leq V + K$), то в силу эргодичности получаемого случайного процесса стационарный режим функционирования и, соответственно, стационарные распределения вероятностей состояний существуют при любых начальных условиях и при любых нагрузках ρ_r , даже в случае переполняющих входящих потоков, когда $V_r < \rho_r < \infty$.

Отказ в обслуживании пакетов r -го приоритета наступает в случаях:

- потери пакетов r -го приоритета из-за занятости всех обслуживающих приборов и переполнения буфера пакетами с более высоким и/или равным приоритетом - $P_{V+K}(r, V)$, определяемой распределением (3.34);

- вытеснения пакетов r -го приоритета из очереди при поступлении пакетов более высокого приоритета - $P_{\text{ВЫТ}}(r, V)$.

Стационарная вероятность отказа в обслуживании пакетов r -го приоритета $P_{\text{ОТК}}(r, V)$ определяется на основе формулы полной вероятности или "закона сохранения потерянной нагрузки" [51, 166, 167]:

$$P_{\text{ОТК}}(r, V) = P_{V+K}(r, V) + P_{\text{ВЫТ}}(r, V) \cdot [1 - P_{V+K}(r, V)], \quad (3.34)$$

где

$$P_{\text{ВЫТ}}(r, V) = \begin{cases} 0, & r = 1, \\ \frac{1}{\rho_r^*} \cdot \sum_{m=1}^{r-1} \rho_m^* \cdot [P_{V+K}(r, V) - P_{V+K}(m, V)], & r = \overline{2, R}, \end{cases} \quad (3.35)$$

вероятность, характеризующая отношение среднего числа вытесненных из очереди пакетов r -го приоритета к среднему числу поступивших пакетов r -го приоритета (при этом вытеснение пакетов r -го приоритета определяется пакетами с приоритетом $\overline{1, r-1}$; $\rho_r^* = \lambda_r / \mu$ - интенсивность нагрузки r -го приоритета).

3.3.3 Стационарное распределение времени ожидания пакетов. Для получения стационарного распределения времени ожидания обслуживания пакетов в УК типа $\overline{M}_r / M / V / K$, в дополнение к способу, предложенному в [166], применим метод инвариантов - "закон сохранения накопленной в очереди работы" [51]. В соответствии с этим на начальном этапе получим стационарное распределение времени ожидания обслуживания для *приоритетных* пакетов, а на последующих этапах рекуррентно рассчитаем показатели, характеризующие ожидание пакетов *оставшихся* приоритетных классов.

В связи с тем, что на ожидание приоритетных пакетов не оказывают влияние ни ожидающие в очереди, ни вновь поступающие неприоритетные пакеты, то искомое распределение (по аналогии с п. 3.3.2) определяется моделью УК типа $M / M / V / K$. Однако следует учесть, что согласно принятой дисциплине обслуживания узел коммутации функционирует под действием потоков двух типов (рис. 3.4, свойство 3.2) [56]:

- в состояниях $0 \leq i \leq V - 1$ действует суммарный входящий поток Λ_r ;
- в состояниях $V \leq i \leq V + K$ действует поток пакетов первого приоритета.

Пакет суммарного потока Λ_R , поступивший в незагруженный УК типа $M/M/V/K$ (состояния $0 \leq i \leq V-1$), немедленно начинает обслуживаться. При этом ФР времени ожидания обслуживания описывается функцией Хевисайда:

$$W_{(t)} = \begin{cases} 0, & t \leq 0; \\ 1, & t > 0. \end{cases} \quad (3.36)$$

При полностью загруженном УК (состояния $V \leq i \leq V + K$) пакеты первого приоритета ожидают начала обслуживания время, необходимое для обслуживания находящихся в узле $i - V - 1$ пакетов, и выходят из неё через экспоненциально распределённые с параметром $V \cdot \mu$ времена [54]. Следовательно, время ожидания пакетов распределено по закону Эрланга с параметрами $V \cdot \mu$ и $i + 1$.

Вместе с тем прямое получение аналитического выражения для среднего времени ожидания пакетов различных приоритетов в многоканальных УК, с учётом отмеченных условий, затруднено. В то же время, используя "закон сохранения накопленной очереди" [51] и равенство (4.16) для пакетов первого приоритета, можно рекуррентно рассчитать среднее время ожидания обслуживания пакетов r -го приоритета - w_r :

$$w_r = \begin{cases} w_1^*, & r = 1; \\ \frac{\lambda_r}{\lambda_r} \cdot \left(w_r^* - \frac{\lambda_{r-1}}{\lambda_r} \cdot w_{r-1}^* \right), & r = \overline{2, R}, \end{cases} \quad (3.37)$$

где w_r^* среднее время ожидания обслуживания в бесприоритетном УК с суммарной входящей нагрузкой ρ_r (без учёта приоритетов), определяемое для любых $\rho_r : 0 < \rho_r < \infty$ по аналогии с выражением (3.36)

$$w_r^* = \begin{cases} P_V(r, V) \cdot \frac{1 - (K+1) \cdot \left(\frac{\rho_r}{V}\right)^K + K \cdot \left(\frac{\rho_r}{V}\right)^{K+1}}{\mu \cdot V \cdot \left(1 - \frac{\rho_r}{V}\right)^2}, & \frac{\rho_r}{V} \neq 1, \\ \rho_V(r, V) \cdot \frac{K \cdot (K+1)}{2 \cdot \mu \cdot V}, & \frac{\rho_r}{V} = 1 \end{cases} \quad (3.38)$$

Полученные зависимости (3.32), (3.37) позволяют рассчитать среднюю длину очереди пакетов r -го приоритета в УК двумя способами [54, 67] на основе формулы Литтла и распределения вероятностей состояний:

$$l_r = \begin{cases} L_r, & r = 1 \\ L_r - L_{r-1}, & r = \overline{2, R}, \end{cases} \quad L_r = \sum_{m=1}^K m \cdot P_{V+m}(r, V) \quad (3.39)$$

При этом использование распределения вероятностей состояний, для случая $r = \overline{2, R}$, определяет среднюю длину очереди r -го приоритета как разность между средней длиной очереди в УК с суммарной входящей нагрузкой ρ_r и средней длиной очереди в УК с суммарной входящей нагрузкой ρ_2 [166, 167]. Использование формулы Литтла $l_r = \lambda_r \cdot w_r$ служит для контроля вычислений.

Определим вероятность того, что пакет r -го приоритета, поступивший в

произвольный момент времени в УК типа $\vec{M}_r / M / V / K$, попадает на ожидание и среднее время его ожидания не превысит допустимого $P(w_r \leq t_{\text{пп тр}}(r))$. Данная вероятность определяется по аналогии с (4.15) выражением:

$$w_r(s) = \sum_{i=0}^{K-1} P_{V+i}(r, V) \cdot \left(\frac{\mu \cdot V}{s + \mu \cdot V} \right)^{i+1} = \mu \cdot V \cdot P_V(r, V) \cdot \frac{1 - \left(\frac{\Lambda_r}{s + \mu \cdot V} \right)^K}{s + \mu \cdot V - \Lambda_r} \quad (3.40)$$

В связи с тем, что буфер узла коммутации ограниченный $0 < K < \infty$ показатели качества его функционирования (3.15), (3.16), (3.18), (3.20), (3.21) могут рассчитываться и при условии принятия пакетов различных приоритетов на обслуживание (при отсутствии потерь пакетов). В данном случае в выражениях множитель $P_V(r, V)$ заменяется на множитель $P_V(r, V) \cdot [1 - P_{V+K}(r, V)]^{-1}$ [67, 68]. Вместе с тем полученные выше безусловные показатели качества позволяют производить сравнение функционирования УК с конечным и бесконечным буфером.

3.3.4 Стационарное распределение времени пребывания пакетов. С учётом независимости процессов поступления и обслуживания пакетов стационарное распределение времени их пребывания в УК типа $\vec{M}_r / M / V / K$ имеет ПЛС:

$$v_r(s) = w_r(s) \cdot \beta(s), \quad (3.41)$$

где w_r - ПЛС условной ФР времени ожидания обслуживания, рассчитываемое на основе вероятностной свертки распределений Эрланга (3.41); $\beta(s) = \mu / (s + \mu)$ - ПЛС ФР длительности обслуживания пакетов, которая описывается показательным распределением (п. 3.3.2).

4 Имитационное моделирование

В общем случае имитационное моделирование является действенным средством проверки результатов аналитического моделирования [63, 66] и предполагает последовательное решение следующих задач:

- программирование исследуемого УК на языке моделирования;
- настройка имитационной модели путём сравнения с эталонными (известными в теории) аналитическими результатами;
- задание необходимой точности (с целью получения эффективных, несмещённых, состоятельных оценок) и проведение требуемого числа экспериментов (прогона модели) для исследуемой модели УК (не имеющего аналогов в теории);
- обработка результатов экспериментов.

В качестве примера рассмотрим результаты имитационного моделирования процессов функционирования УК типа $M_r / M / 1 / K$, $M_r / D / 1 / K$ ($K = 50$) при надёжных обслуживающих приборах, а также при других начальных условиях, аналогичных сформулированным в п. 3.3.2. При этом выбор модели УК типа $M_r / M / 1 / K$ обусловлен наличием "эталонных" (точных) аналитических моделей (п. 3.2, при $V = 1$), обеспечивающих строгую сравнимость результатов.



Рисунок 3.4 - Структура имитационной модели УК типа $M_r / G / 1 / K$

Структура исследуемой имитационной модели УК типа $\vec{M}_r / G / 1 / K$ соответствует структуре модели УК, представленной на рисунке 4.1, и дополнена источниками (генераторами) трафика (рис. 4.18). Число источников трафика соответствует назначенному числу классов качества обслуживания $R = 2$ (п. 4.5.2). При этом каждый источник генерирует простейшие потоки заявок (пакетов). Данный способ построения имитационной модели позволяет абстрагироваться от конкретных пользовательских приложений и оперировать только распределениями трафика.

С целью получения эффективных, несмещённых и состоятельных оценок объём выборки (число экспериментов) выбирается из расчёта генерации не менее заявок (пакетов) для каждой точки построения графиков, определяемой

относительно загрузки обслуживающего прибора. При этом определяется в ходе статистического эксперимента на основе следующего способа [43].

По мере накопления числа испытаний анализируется последовательность выборок объёма, где k -я выборка включает все испытания $(k-1)$ -й выборки. Для k -й выборки вычисляется значение выборочной оценки \hat{a}_{\odot_k} (или всех необходимых выборочных оценок) и сравнивается с вычисленными ранее значениями.

Эксперимент прекращается в случае равенства всех сравниваемых величин с требуемой точностью ε и заданной вероятностью. Состоятельность оценок $|a - \hat{a}_{\odot_k}| < \varepsilon$ повышается с увеличением объёма выборки \odot (a - истинное (теоретическое) значение \hat{a}_{\odot_k}). При этом также должно выполняться условие: величины $|a - \hat{a}_{\odot_k}|$ и $|\hat{a}_{\odot_k} - \hat{a}_{\odot_{k-1}}|$ убывают монотонно с ростом k .

В качестве начальной точки для определения объёма выборки \odot_1 в зависимости от интенсивности поступления трафика Λ можно использовать выражение:

$$\odot_1 = \left(\frac{1,96}{0,05}\right)^2 \cdot \frac{\Lambda \cdot D_{\hat{a}}}{\hat{a}^2} > 10^5, \quad (4.1)$$

полученное в [65] в предположении о нормальном распределении оценки, её известной дисперсией, а также заданными доверительной вероятностью β и относительной погрешностью. В представленном выражении для $\beta = 95\%$ доверительный коэффициент $A_\beta = 1,96$, при этом согласно [66] в качестве a выступает вероятность потери пакетов.

Для программирования выбран язык имитационного моделирования GPSS World (General Purpose Simulation System), предназначенный для моделирования дискретных систем, в том числе со сложными (настраиваемыми) параметрами, как в случае дисциплин обслуживания исследуемых УК (п.п. 3.2.1, 3.3.1). Работа модели представляется как движение заявок (запросов на обслуживание), называемых в GPSS транзакциями, через различные блоки, описываемые операторами языка. Каждый блок программы выполняет присущее ему действие только в тех случаях, когда через него проходит транзакция.

Чтобы смоделировать узел коммутации, необходимо составить его описание согласно п.п. 3.2.1, 3.3.1 в терминах GPSS. Затем симулятор генерирует транзакции, продвигает их через заданные блоки и выполняет действия, соответствующие блокам. Каждое продвижение транзакции является событием, которое должно произойти в определенный момент времени. Симулятор регистрирует времена наступления каждого события, после чего производит обработку событий в правильной хронологической последовательности.

На основе обработки результатов имитационного моделирования построены эмпирические (экспериментальные) зависимости средней длины очереди в УК типа $M_r / M / 1 / K$, $M_r / D / 1 / K$ по приоритетам (рис. 3.43),

проведено их сравнение с результатами, полученными на основе аналитических моделей ("эталонной" (3.36) и приближённой (3.44)).

При этом в качестве меры расхождения результатов аналитического и имитационного моделирования принята величина средней относительной погрешности [49] для средней длины очереди заявок (пакетов):

$$\delta_l = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=1}^N \left| \frac{\hat{l}_r(n) - l_r(n)}{l_r(n)} \right|, \quad (3.43)$$

где $n = \overline{1, N}$ — количество точек для построения графиков (выбирается относительно загрузки обслуживающего прибора); $l_r(n)$, $\hat{l}_r(n)$ — средняя длина очереди пакетов r -го приоритета, определяемая в точке n по результатам аналитических расчётов и имитационного моделирования, соответственно.

Расчёты средней относительной погрешности моделирования представлены в таблице 3.2 и на рисунке 3.5.

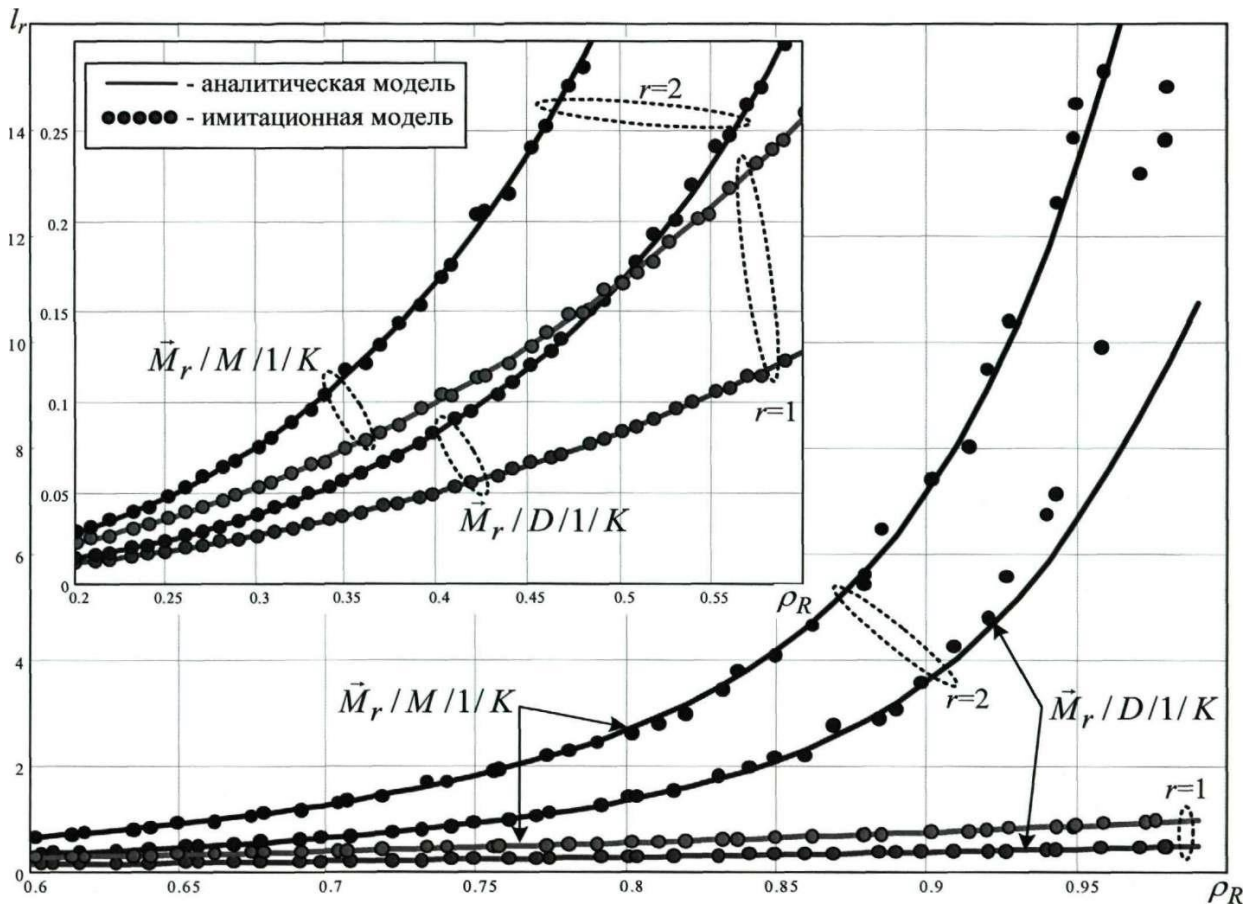


Рисунок 3.6 - Средняя длина очереди пакетов в УК

Т а б л и ц а 3.2 - Средняя относительная погрешность моделирования

| Приоритет | Средняя длина очереди пакетов в УК типа: | |
|-----------|--|-------------------------|
| | $\vec{M}_r / M / 1 / K$ | $\vec{M}_r / D / 1 / K$ |
| $r = 1$ | 1,34% | 1,01% |
| $r = 2$ | 2,32% | 3,80% |

В соответствии с полученными данными относительная погрешность моделирования УК типа $M_r / M / III / K$, $M_r / D / II / K$ и расчёта средней длины очереди для приоритетного трафика ($r = 1$) незначительна и снижается с увеличением нагрузки. Это обусловлено снижением дискретности моделирования средней длины очереди (большим диапазоном её изменения) при $\rho_r \rightarrow 1$.

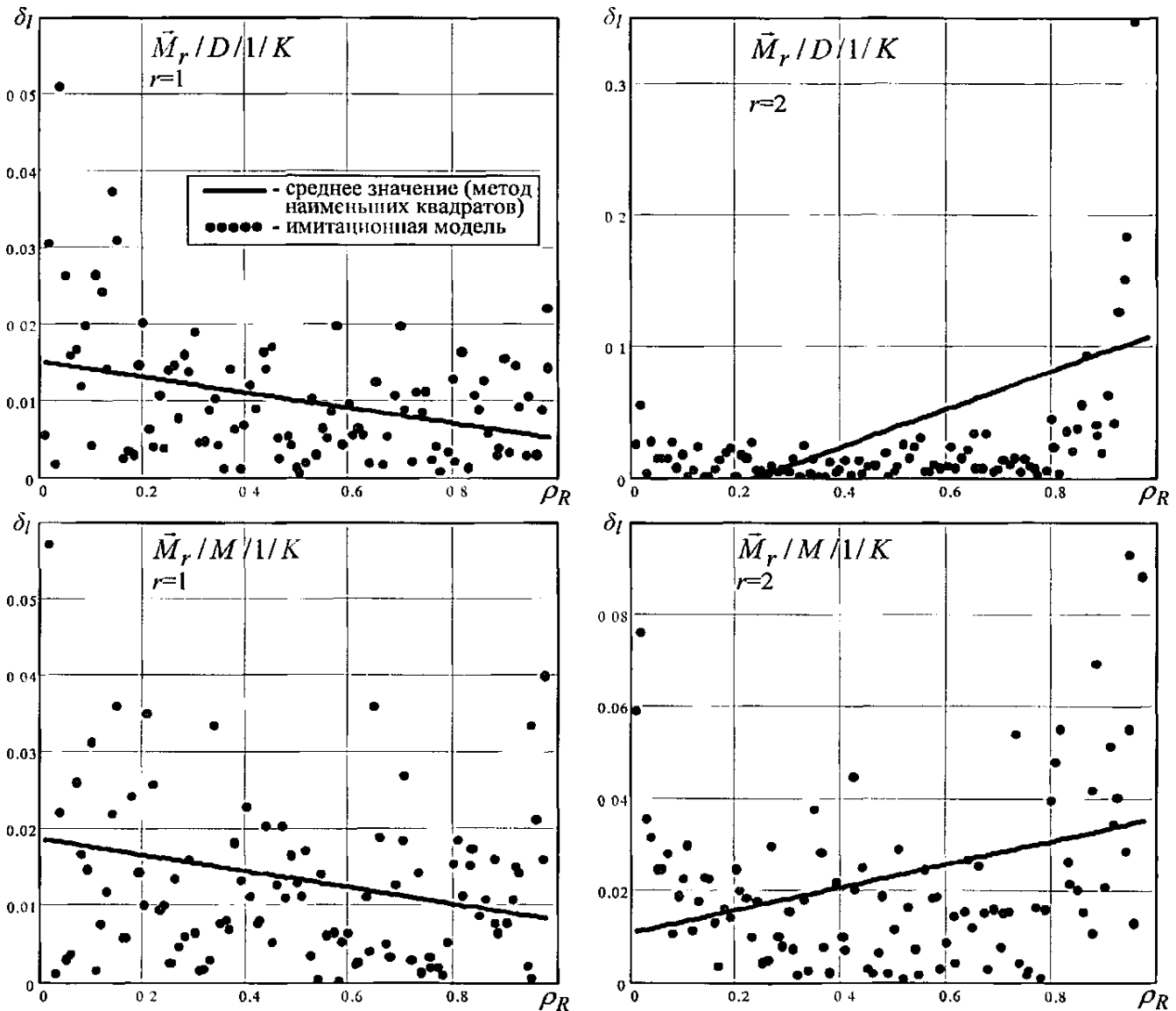


Рисунок 3.7 - Относительная погрешность моделирования

В свою очередь, также в соответствии с полученными данными (табл. 3.2, рис. 3.7), относительная погрешность моделирования УК типа $M_r / D / I / K$ и расчёта средней длины очереди для неприоритетного трафика ($r = 2$) значительно возрастает в области высокой загрузки обслуживающего прибора (рис. 3.7, при $\rho \rightarrow 1$), даже в сравнении с УК типа $M_r / M / I / K$. Это обусловлено

следующими основными причинами:

- погрешностью собственно метода диффузионной аппроксимации - так решение для средней длины очереди в УК типа $M_r / M / 1 / K$ на основе метода диффузионной аппроксимации (4.69) сходится к точному решению (4.19), для УК типа $M_r / D / 1 / K$ точного решения не получено;

- нарушением условий применения свойства 4.3 - так метод диффузионной аппроксимации (рис. 4.6), являющийся основой для построения аналитических моделей, разработан для УК с бесконечным буфером, имитационная модель (рис. 4.18) разработана для УК с конечной очередью, при этом эквивалентность систем с конечной и бесконечной очередью нарушается в области высоких загрузок¹⁴ (рис. 4.7), при $P_{V+K}(r, V) > 10^{-3}$.

В подтверждение последнего при проведении имитационного моделирования зафиксировано, что с увеличением объёма буфера относительная погрешность моделирования УК снижается, при этом $\delta_l \rightarrow 0$ при $K \rightarrow \infty$. С требуемой достоверностью на выбранном объёме выборки величина вероятности потери пакетов фиксируется только в области высокой загрузки обслуживающего прибора.

В целом полученные экспериментальные данные подтверждают правильность разработанных аналитических моделей УК и достоверность получаемых на их основе результатов.

В свою очередь, также в соответствии с полученными данными (табл. 4.1, рис. 4.20), относительная погрешность моделирования УК и расчёта средней длины очереди для неприоритетного трафика ($r = 2$) значительно возрастает в области высокой загрузки обслуживающего прибора, даже в сравнении с УК типа. Это обусловлено следующими основными причинами:

- погрешностью собственно метода диффузионной аппроксимации - так решение для средней длины очереди в УК на основе метода диффузионной аппроксимации сходится к точному решению, для УК точного решения не получено;

- нарушением условий применения свойства 3.3 - так метод диффузионной аппроксимации (рис. 3.7), являющийся основой для построения аналитических моделей, разработан для УК с бесконечным буфером, имитационная модель разработана для УК с конечной очередью, при этом эквивалентность систем с конечной и бесконечной очередью нарушается в области высоких загрузок.

В подтверждение последнего при проведении имитационного моделирования зафиксировано, что с увеличением объёма буфера относительная погрешность моделирования УК снижается. С требуемой достоверностью на выбранном объёме выборки величина вероятности потери пакетов фиксируется только в области высокой загрузки обслуживающего прибора.

В целом полученные экспериментальные данные подтверждают правильность разработанных аналитических моделей УК и достоверность получаемых

на их основе результатов.

Выводы. Таким образом, в настоящем разделе, исходя из общих принципов (архитектуры) построения сетей NGN и обеспечения качества обслуживания в процессе передачи разнородного трафика, разработаны теоретические основы исследования - метод моделирования процессов функционирования узлов коммутации сетей NGN при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов).

Разработанный метод основывается на, результатах моделей узлов коммутации с относительными приоритетами при совместном использовании $\vec{M}_r/M/V/K$ и резервировании ресурсов $\vec{M}_r/M/V_r/K_r$, а также на применении методов диффузионной аппроксимации и инвариантов ("закон сохранения накопленной в очереди работы"), свойства эквивалентности узлов коммутации с конечным и бесконечным буфером при малых нормах потерь пакетов. При этом использование моделей УК типа $\vec{M}_r/M/V/K$, $\vec{M}_r/M/V_r/K_r$ обусловлено фундаментальностью получаемых для них результатов и возможностью распространения последних (на основе метода диффузионной аппроксимации и инвариантов) на более общие случаи построения моделей узлов коммутации.

С использованием предложенного метода исследования в настоящем разделе разработан¹⁵ комплекс моделей узлов коммутации общего типа $\vec{G}_r/G/V/K$, $\vec{G}_r/G/V_r/K_r$, и их частных случаев $\vec{M}_r/M/V/K$, $\vec{M}_r/M/V_r/K_r$, $\vec{M}_r/D/V/K$, $\vec{M}_r/D/V_r/K_r$ с коммутацией пакетов фиксированной и экспоненциальной длины, ожиданием (потерями), относительными приоритетами (по классам качества услуг, категориям пользователей и подсистем), резервированием ресурсов (стратегия подвижной границы), учётом реальной надёжности обслуживающих приборов. Для данных УК получены основные показатели качества функционирования (построены их графические зависимости):

- среднее время ожидания обслуживания и пребывания пакетов различных приоритетов $r = \overline{1, R}$, джиттер задержки пакетов;
- средняя длина очереди пакетов различных приоритетов $r = \overline{1, R}$;
- вероятность своевременной доставки и вероятность потери пакетов различных приоритетов $r = \overline{1, R}$;
- производительность и обслуженная нагрузка,

а также решены задачи оптимального назначения приоритетов и определения порога резервирования ресурсов, обеспечивающих минимизацию средней стоимости пребывания пакетов различных классов в узлах коммутации. При этом назначение приоритетов осуществляется на основе первого момента длительности обслуживания пакетов различных классов, а также требований к времени их доставки в сети (обоснованных нормативными документами МСЭ-Т).

В общем, разработанный в настоящем разделе комплекс моделей узлов коммутации сетей NGN позволяет:

- комплексно исследовать процессы их функционирования в реальных условиях - при учёте реальной надёжности обслуживающих приборов, возможности возникновения перегрузок (при ограниченном числе обслуживающих приборов и объёме буфера), а также при приоритезации трафика и резервировании ресурсов для трафика реального времени;

- определять верхние и нижние граничные оценки показателей качества функционирования (на наихудший и наилучший случаи), задаваемые, соответственно, экспоненциальным и детерминированным временем обслуживания пакетов.

При этом в последнем случае доказано, что предложенные "идеальные" верхние и нижние граничные оценки показателей качества функционирования узлов коммутации гарантированно включают основные варианты распределений длительности обслуживания пакетов для узлов коммутации сетей NGN на основе технологий IP, ATM, MPLS.

Для получения решения относительно произвольных распределений времени поступления и обслуживания пакетов в УК типа $\bar{G}_r / G / V / K$, $\bar{G}_r / G / N_r / K_r$, необходимо произвести сбор и обработку статистических данных по распределениям интервалов времени между поступлениями пакетов и длин пакетов и на основе моментов данных распределений рассчитать искомые значения квадратичных коэффициентов вариации.

В целом представленные выше факторы определяют новизну исследований по моделированию процессов функционирования узлов коммутации сетей, NGN при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов).

Адекватность разработанных моделей узлов коммутации и достоверность полученных на их основе результатов основывается:

- на учёте широкого спектра внешних и внутренних параметров, наиболее полно характеризующих особенности построения и функционирования мульти- сервисных сетей связи на основе концепции NGN;

- на корректном применении апробированных методов теории очередей, диффузионной аппроксимации, инвариантов, - что подтверждается имитационным моделированием, а также сходимостью полученных результатов к известным в теории очередей (при соответствующем выборе параметров).

При этом разработанная модель УК типа $\bar{M}_r / G / V_r / K_r$ является наиболее общей и при соответствующем выборе параметров может быть последовательно сведена к различным производным (частным) вариантам узлов коммутации сетей NGN на основе технологий IP, ATM, MPLS:

- с коммутацией пакетов фиксированной, экспоненциальной и произвольной (определяемой на основе измерения моментов и расчёта C_f) длины;

- с относительными приоритетами и резервированием ресурсов: $\bar{M}_r / M / V_r / K_r$, $\bar{M}_r / D / V_r / K_r$;

- с относительными приоритетами: $\overline{M}_r/M/V/K$, $\overline{M}_r/D/V/K$;
- без приоритетов (с суммарной нагрузкой): $M/M/V/K$, $M/D/V/K$;
- с чистыми потерями (с суммарной нагрузкой): $M/M/V$, $M/D/V$, а также аналогичным системам с непуассоновским входящим потоком.

Исследование свойств разработанных моделей узлов коммутации позволяет подтвердить ряд важных выводов для теории и практики построения мультисервисных сетей связи:

- для интеграции услуг в современных сетях передачи данных и создания на их основе мультисервисных сетей связи (при выполнении требований к качеству обслуживания) необходимо управление трафиком на основе назначения приоритетов в соответствии с классами качества обслуживания (QoS) и резервирования ресурсов;

- ужесточение требований к доставке трафика в сети, появление новых услуг с комплексным предоставлением информации обуславливают применение в мультисервисных сетях связи (в сети доступа и транспортной сети) цифровых систем передачи с высокой пропускной способностью и надёжностью (резервированием), а также высокопроизводительного коммутационного оборудования.

4.1 Моделирование самоподобного трафика

При моделировании самоподобного (мультисервисного) трафика широко используются модели ON/OFF-источников (пакетных серий), длительность интервалов ON и/или OFF-периодов которых имеет распределение с "тяжёлым хвостом".

Сначала рассмотрим отдельный ON/OFF-источник и остановимся на стационарном бинарном ряде $\{A(t), t \geq 0\}$, который он генерирует. При этом $A(t) = 1$ означает, что в момент времени t передается пакет (серия пакетов), в свою очередь $A(t) = 0$ означает, что пакета (серии пакетов) нет. Рассматривая $A(t)$ как вклад в момент времени t , получаем единичный вклад за время ON-периода, тогда OFF-периоду соответствует нулевой вклад, затем 1 и т.д. Длины ON-периодов являются независимыми и одинаково распределёнными. Длины OFF-периодов также являются независимыми и одинаково распределёнными. Длины ON- и OFF- периодов независимы. OFF-период всегда следует за ON-периодом и они составляют пару ON/OFF-периодов, которая определяет период между возобновлением. Такой процесс иногда называют чередующимся процессом восстановления.

1. Для моделирования отдельных ON/OFF источников применяются РТХ типа Парето, Вейбулла и логнормальное распределение [58, 60, 61, 66, 198] и др.

Распределение Парето используется для моделирования размеров Web-страниц и файлов, пульсаций данных FTP, а также трафика Ethernet, VoIP (на

уровне соединений и уровне пакетов) и VBR-видео. При этом распределение Парето имеет плотность распределения вероятности (ПРВ) вида:

$$\omega(x) = \begin{cases} \frac{\alpha \cdot X_{min}^\alpha}{x^{\alpha+1}}, & x \geq X_{min}, \\ 0, & x < X_{min}, \end{cases} \quad (4.2)$$

$$\bar{m} = \frac{\alpha \cdot X_{min}}{\alpha - 1}, \quad \alpha > 1,$$

$$\sigma^2 = \begin{cases} \frac{\alpha \cdot X_{min}^2}{(\alpha-1)^2 \cdot (\alpha-2)}, & \alpha > 2, \\ \infty, & \alpha \leq 2 \end{cases}, \quad C^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{m}^2} = \begin{cases} \frac{1}{\alpha \cdot (\alpha-2)}, & \alpha > 2, \\ \infty, & \alpha \leq 2 \end{cases},$$

где X_{min} - нижний граничный параметр, характеризующий минимальное значение для случайной величины x ; \bar{m} , σ^2 и C^2 — соответственно среднее, дисперсия и квадратичный коэффициент вариации случайной величины x .

Логнормальное распределение используется для моделирования длительностей телефонных соединений, времени между поступлениями пакетов в ЛВС, размеров соединений в Telnet и др. При этом логнормальное распределение является субэкспоненциальным. Определение логнормального распределения основывается на нормальном распределении следующим образом - если $z = \log(x)$ является нормально распределённой (с нулевым средним значением), то случайная величина x будет называться логнормальной с ПРВ вида:

$$\omega(x) = \frac{1}{x \cdot \sqrt{2\pi} \cdot \sigma} e^{-\frac{(\log(x) - \bar{m})^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad x > 0, \quad (4.3)$$

где $\bar{m} = e^{\frac{\sigma^2}{2} + \bar{m}}$, $\sigma^2 = e^{(\sigma^2 + 2 \cdot \bar{m})} \cdot (e^{\sigma^2} - 1)$ - моменты случайной величины x

Распределение Вейбулла используется для моделирования трафика данных FTP и имеет ПРВ вида (таблица 5.1):

$$\omega(x) = \alpha \cdot \beta \cdot x^{\beta-1} \cdot e^{-\alpha \cdot x^\beta}, \quad (4.4)$$

где β - индекс сдвига, отвечающий за симметрию устойчивого распределения и принимающий значения в диапазоне (-1;1).

В некоторых случаях, при моделировании, трафик может рассматриваться как наложение большого числа независимых ON/OFF источников, имеющих распределение с "тяжёлыми хвостами" для длительностей ON и/или OFF периодов [60, 61, 63]. В этом случае после вычитания средней скорости поступления и должной нормировки, в соответствии с центральной предельной теоремой [61], объединённые ON/OFF источники сходятся к гауссовскому

фрактальному броуновскому движению (ФБД) - $B_H(t)$. При этом стационарный процесс приращений X_H ФБД называется фрактальным гауссовским шумом (ФГШ):

$$X_H = \{X_H(t) = B_H(t + 1) - B_H(t), \quad t \geq 0\}. \quad (4.5)$$

Определение [61]. Гауссовский процесс $G_H(t) = [B_H(t + \delta) - B_H(t)]/\delta$ называется ФГШ с параметром $0 < H < 1$, если его коэффициент корреляции соответствует (5.1): $r(k) = \frac{1}{2} \cdot [(k + 1)^{2 \cdot H} - 2 \cdot k^{2 \cdot H} + (k - 1)^{2 \cdot H}]$, $k \in \mathbb{N}$. Здесь δ – приращение.

В результате самоподобный трафик (для процесса приращений) может моделироваться как сумма фрактального гауссовского шума, а также среднего значения с заданной дисперсией и показателем Херста.

Широкое применение модели ФБД/ФГШ объясняется тем, что она позволяет формировать стационарный в широком смысле самоподобный гауссовский процесс (при $0.5 < H < 1$) и поэтому поддаётся аналитической трактовке. Кроме того, она описывается только двумя параметрами: дисперсией и показателем H .

Вместе с тем ФБД/ФГШ модели имеют ограничения при применении их к сетевому трафику. Во-первых, реальные трафиковые трассы не проявляют строгой самоподобности и являются асимптотически самоподобными. Во-вторых, гауссовость ФБД/ФГШ моделей может не соответствовать реальности для некоторых типов трафика, например, когда среднеквадратическое отклонение превышает среднее значение. В-третьих, во многих сетевых приложениях реальные процессы приближаются к гауссовскому случаю не достаточно точно, особенно на небольших масштабах времени [60, 61].

Данные факторы обусловлены ограниченностью числа мультиплексируемых источников трафика и сетевых ресурсов, применением механизмов сетевого управления с обратной связью и возникающими в связи с этим корреляционными связями. В результате ФБД - это "идеальная" модель самоподобного трафика.

Выводы. Таким образом, в настоящем разделе даны определения самоподобного трафика и представлено описание его основных свойств (масштабирование, долговременная зависимость, медленно убывающая дисперсия). Показано, что для моделирования самоподобного трафика необходимо использовать модели

ON/OFF источников, имеющих распределение с "тяжёлыми хвостами" для длительностей ON и/или OFF периодов. При этом для моделирования одиночных ON/OFF-источников используются распределения с "тяжёлыми хвостами" типа Парето, Вейбулла и логнормальное распределение (асимптотическое самоподобие в широком смысле, см. п. 5.3.1). В свою очередь для моделирования суммарного (объединённого) самоподобного трафика может использоваться фрактальное броуновское движение (строгое

самоподобие в широком смысле, см. п. 5.3.2), регрессионные модели. При этом наличие различных методов моделирования как одиночных, так и объединённых источников позволяет производить оценку процессов обслуживания самоподобного (мультисервисного) трафика для конкретных условий, характерных построению сети NGN уровня сети доступа и транспортной сети.

Заключение

Представленная диссертационная работа посвящена актуальным проблемам построения сетей связи следующего поколения, а также развития моделей и методов их исследования.

1. Основным элементом предлагаемого метода синтеза (проектирования) сетей NGN являются модели узлов коммутации.

В соответствии с этим, исходя из общих принципов построения сетей NGN и обеспечения качества обслуживания в процессе передачи разнородного трафика, разработаны теоретические основы исследования - метод моделирования процессов функционирования узлов коммутации сетей NGN при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов).

Разработанный метод основывается на результатах моделей узлов коммутации с относительными приоритетами при совместном использовании $M_c/M/V/K$ и резервировании ресурсов $M_c/M/U_c/K_c$, а также на применении методов диффузионной аппроксимации и инвариантов ("закон сохранения накопленной в очереди работы"), свойства эквивалентности узлов коммутации с конечным и бесконечным буфером при малых нормах потерь пакетов. При этом использование моделей УК типа $M_c/M/V/K$, $M_c/M/U_c/K_c$ обусловлено фундаментальностью получаемых для них результатов и возможностью распространения последних (на основе метода диффузионной аппроксимации и инвариантов) на более общие случаи построения моделей узлов коммутации.

С использованием предложенного метода исследования в настоящем разделе разработан комплекс моделей узлов коммутации общего типа с коммутацией пакетов фиксированной и экспоненциальной длины, ожиданием (потерями), относительными приоритетами (по классам качества услуг, категориям пользователей и подсистем), резервированием ресурсов (стратегия подвижной границы), учётом реальной надёжности обслуживающих приборов. Для данных УК получены основные показатели качества функционирования (построены их графические зависимости):

- среднее время ожидания обслуживания и пребывания пакетов различных приоритетов $\gamma = 1, R$, джиттер задержки пакетов;

- средняя длина очереди пакетов различных приоритетов $\gamma = 1, R$;

- вероятность своевременной доставки и вероятность потери пакетов различных приоритетов $r = 1, R$;

- производительность и обслуженная нагрузка, -

а также решены задачи оптимального назначения приоритетов и определения порога резервирования ресурсов, обеспечивающих минимизацию средней стоимости пребывания пакетов различных классов в узлах коммутации. При этом назначение приоритетов осуществляется на основе первого момента длительности обслуживания пакетов различных классов, а также требований к

времени их доставки в сети (обоснованных нормативными документами МСЭ-Т).

В общем, разработанные модели узлов коммутации сетей NGN позволяют:

- комплексно исследовать процессы их функционирования в реальных условиях - при учёте реальной надёжности обслуживающих приборов, возможности возникновения перегрузок (при ограниченном числе обслуживающих приборов и объёме буфера), а также при приоритезации трафика и резервировании ресурсов для трафика реального времени;
- определять верхние и нижние граничные оценки показателей качества функционирования (на наихудший и наилучший случаи), задаваемые, соответственно, экспоненциальным и детерминированным временем обслуживания пакетов.

При этом в последнем случае доказано, что предложенные "идеальные" верхние и нижние граничные оценки показателей качества функционирования узлов коммутации гарантированно включают основные варианты распределений длительности обслуживания пакетов для узлов коммутации сетей NGN на основе технологий IP, ATM, MPLS.

Для получения решения относительно произвольных распределений времени поступления и обслуживания пакетов в УК типа $G_rIGIVIK$, $G_rIGIV_rIK_r$ необходимо произвести сбор и обработку статистических данных по распределениям интервалов времени между поступлениями пакетов и длин пакетов и на основе моментов данных распределений рассчитать искомые значения квадратичных коэффициентов вариации.

В целом представленные выше факторы определяют новизну исследований по моделированию процессов функционирования узлов коммутации сетей NGN при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов). Адекватность разработанных моделей узлов коммутации и достоверность полученных на их основе результатов основывается:

- на учёте широкого спектра внешних и внутренних параметров, наиболее полно характеризующих особенности построения и функционирования мульти-сервисных сетей связи на основе концепции NGN;
- на корректном применении апробированных методов теории очередей, диффузионной аппроксимации, инвариантов, что подтверждается имитационным моделированием, а также сходимостью полученных результатов к известным в теории очередей (при соответствующем выборе параметров).

Следующей составной частью метода синтеза (проектирования) сетей NGN является разработка моделей узлов коммутации при обслуживании самоподобного трафика и решение задачи обеспечения качества обслуживания в условиях самоподобия трафика.

С этой целью в работе даны определения самоподобного трафика и представлено описание его основных свойств (масштабирование, долговременная зависимость, медленно убывающая дисперсия). Также в работе показано, что

для моделирования самоподобного трафика необходимо использовать модели ON/OFF источников, имеющих распределение с "тяжёлыми хвостами" для длительностей ON и/или OFF периодов. При этом для моделирования одиночных ON/OFF-источников используются распределения с "тяжёлыми хвостами" типа Парето, Вейбулла и логнормальное распределение (асимптотическое самоподобие в широком смысле). В свою очередь для моделирования суммарного (объединённого) самоподобного трафика может использоваться фрактальное броуновское движение (строгое самоподобие в широком смысле), регрессионные модели. Наличие различных методов моделирования как одиночных, так и объединённых источников позволяет производить исследование процессов обслуживания самоподобного (мультисервисного) трафика для конкретных условий, соответствующих узлам коммутации уровней сети доступа и транспортной сети.

В соответствии с этим в работе (на основе метода моделирования процессов функционирования узлов коммутации при произвольных распределениях поступления и обслуживания заявок различных классов качества (приоритетов)) разработан метод моделирования процессов функционирования узлов коммутации сетей NGN при обслуживании самоподобного трафика с учётом классов качества. На его основе получено новое решение для оценки показателей качества функционирования узлов коммутации сетей NGN с коммутацией пакетов фиксированной и экспоненциальной длины при обслуживании с учётом классов качества (относительными приоритетами и резервированием ресурсов) асимптотически самоподобного трафика, описываемого ограниченным распределением Парето, включая:

- среднее время ожидания обслуживания и пребывания пакетов γ -го приоритета, джиттер задержки пакетов;
- среднюю длину очереди пакетов γ -го приоритета;
- вероятность потери пакетов γ -го приоритета;
- вероятность своевременной доставки пакетов γ -го приоритета.

На основе полученных результатов решён ряд практических задач, связанных с определением:

- показателя Херста и квадратичного коэффициента вариации для объединённого трафика, а также эффективности статистического мультиплексирования источников трафика;
- минимального объёма буфера, при котором потери пакетов различных классов обслуживания будут соответствовать соглашению по трафику, а также соответствующих данному объёму буфера задержек пакетов;
- выравнивающей задержки для трафика реального времени.

При этом полученные решения позволяют при проектировании сетей NGN, а также в условиях их практической эксплуатации - путём измерений текущих параметров нагрузки и квадратичных коэффициентов вариации распределений входящих потоков и длин пакетов (по приоритетам):

- на этапе установления соединения (в соответствии с соглашением по трафику) определять требования к сетевым ресурсам: минимальному объёму буфера и производительности (пропускной способности) оборудования (каналов передачи);

- определять для конечных устройств на приёмной стороне требуемое значение выравнивающей задержки и соответствующей ей объём джиттер-буфера с целью компенсации джиттера задержки пакетов при их передаче в сети и минимизации связанных с этим потерь пакетов.

Таким образом, совокупность представленных выше результатов позволяет считать цель исследований достигнутой, а работу завершённой. Вместе с тем завершение данных исследований не закрывает рассматриваемую тему. В ходе работы вскрылись новые задачи и выявились направления дальнейших исследований в первую очередь в области обслуживания мультисервисного (самоподобного) трафика.

Так предложенные в работе методы управления качеством обслуживания на основе приоритезации трафика (относительные приоритеты) и резервирования ресурсов (стратегия подвижной границы) являются базовыми при решении задачи проектировании МСС различного назначения. Вместе с тем требуется более детальное и полное исследование эффективности процессов управления качеством обслуживания на основе:

- введения динамических приоритетов, обеспечивающих более гибкое распределение сетевых ресурсов при обслуживании разнородного трафика в условиях высокой нагрузки, а также циклических дисциплин обслуживания;

- алгоритмов динамического резервирования ресурсов для трафика реального времени.

Список литературы

1. Перспективные телекоммуникационные технологии. Потенциальные возможности / Под ред. Л.Д. Реймана и Л.Е. Варакина. - М.: МАС, 2001. - 256 с.
2. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС РФ / Минсвязи РК. - М.: ДЭС Минсвязи РК, 2001. - 32 с.
3. РД 45.128-2000. Сети и службы передачи данных / Мининформсвязи РК.
4. Ершов, В.А. Мультисервисные телекоммуникационные сети / В.А. Ершов, Н.А. Кузнецов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003. - 432 с.
5. Семёнов, Ю.В. Проектирование сетей связи следующего поколения / Ю.В. Семёнов. - М.: ОАО Гипросвязь, 2005. - 240 с.
6. Кучерявый, А.Е., Сети связи следующего поколения / А.Е. Кучерявый, А.Л. Цуприков. - М.: ФГУП ЦНИИС, 2006. - 278 с.
7. Гулевич, Д.С. Сети связи следующего поколения / Д.С. Гулевич. - М.: Бином-Пресс, 2007. - 183 с.
8. Соколов, Н.А. Задачи перехода к сети связи следующего поколения: Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук / Н.А. Соколов. - СПб.: 2005.
9. Росляков, А.В. Сети следующего поколения NGN / А.В. Росляков, С.В. Ваяшин, М.Ю. Самсонов, И.В. Шибяева, Н.А. Чечнёва; под ред. А.В. Рослякова. - М.: Эко-Трендз, 2008. - 424 с.
10. Олифер, В. Новые технологии и оборудование IP-сетей / В. Олифер, Н. Олифер. - СПб.: БХВ-Петербург, 2000. - 512 с.
11. Засецкий, А.В. Контроль качества в телекоммуникациях и связи. Часть II. / А.В. Засецкий, А.В. Иванов. - М.: Компания Syrus Systems, 2003. — 335 с.
12. Дансмор, Б. Справочник по телекоммуникационным технологиям. Пер. с англ. / Б. Дансмор, Т. Скандьер. - М.: Издательский дом "Вильяме", 2004. - 640 с.
13. Назаров, А.Н. Модели и методы расчёта структурно-сетевых параметров АТМ сетей / А.Н. Назаров. - М.: Горячая линия-Телеком, 2002. - 256 с.
14. Лагутин, В.С. Телетрафик мультисервисных сетей связи / В.С. Лагутин, С.Н. Степанов. - М.: Радио и связь, 2000. - 320 с.
15. Шварц, М. Сети связи: протоколы, моделирование и анализ. В 2-х ч. Часть 1: Пер. с англ. / М. Шварц. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1992. - 336 с.
16. Халсалл, Ф. Передача данных, сети компьютеров и взаимосвязь открытых систем: Пер. с англ. / Ф. Халсалл. - М.: Радио и связь, 1995. - 408 с.

17. Мартин, Дж. Системный анализ передачи данных. Проектирование систем передачи данных. Т.2. Пер с англ. / Дж. Мартин. - М.: Мир, 1975. - 432 с.
18. Терентьев, В.М. Оптимизация организационного построения систем управления сетями многоканальной радиосвязи. / В.М. Терентьев. - Л.: ВАС, 1988.-70 с.
19. Герасимов, А.И. Теория и практическое применение стохастических сетей / А.И. Герасимов. - М.: Радио и связь, 1994. - 176 с.
20. Зелингер, Н.Б. Проектирование сетей и систем передачи дискретных сообщений / Н.Б. Зелингер, О.С. Чугреев, Г.Г. Яновский. - М.: Радио и связь, 1984. - 176 с.
21. Филин, Б.П. Методы оценки структурной надёжности сетей связи / Б.П. Филин. - М.: Радио и связь, 1988. - 220 с.
22. Дудник, Б.Я. Надёжность и живучесть систем связи / Б.Я. Дудник, В.Ф. Овчаренко, В.К. Орлов. Под ред. Б.Я. Дудника. - М.: Радио и связь, 1984. - 216 с.
23. Стекольников, Ю.И. Живучесть систем / Ю.И. Стекольников. - СПб.: Политехника, 2002. -155 с.
24. Нетес, В.А. Надёжность сетей связи в период перехода к NGN / В.А. Нетес // Вестник связи. - 2007. - №9.
25. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания. Пер. с англ. / Л. Клейнрок - М.: Машиностроение, 1979. - 432 с.
26. Бочаров, П.П. Теория массового обслуживания / П.П. Бочаров, А.В. Печинкин. - М.: Изд-во РУДН, 1995. - 529 с.
27. Нейман, В.И. Новое направление в теории телетрафика / В.И. Нейман // Электросвязь. - 1998. - №7. - С. 27-30.
28. Шелухин, О.И. Фрактальные процессы в телекоммуникациях. Монография / О.И. Шелухин, А.М. Тенякшев, А.В. Осин. Под ред. О.И. Шелухина. - М.: Радиотехника, 2003. - 480 с.
29. Городецкий, А.Я. Информатика. Фрактальные процессы в компьютерных сетях. Учебное пособие / А.Я. Городецкий, В.С. Заборовский. - СПб.: Издательство СПбГТУ, 2000. - 102 с.
30. Петров, М.Н. Вероятностно-временные характеристики асинхронных сетей интегрального обслуживания. 2-е изд. / М.Н. Петров, Д.Ю. Пономарев, Г.Х. Хачатрян, Г.Г. Яновский. - Красноярск: НИИ СУВПТ, 2005. - 363 с.
31. Симонина, О.А. Модели расчёта показателей QoS в сетях следующего поколения: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук / О.А. Симонина. - СПб.: 2005. - 129 с.
32. Петров, М.Н. Самоподобие в системах массового обслуживания с ограниченным буфером / М.Н. Петров, Д.Ю. Пономарев // Электросвязь. - 2002. - №2. - С. 35-39.

33. Сычев, К.И. Модели систем массового обслуживания в практических задачах анализа систем мобильной связи / К.И. Сычев, И.Ф. Михалевич. - Орёл: Академия ФАПСИ, 2003. - 211 с.
34. Сычев, К.И. Многокритериальное проектирование мультисервисных сетей связи / К.И. Сычев. - СПб.: Изд-во Политехи, ун-та, 2008. - 272 с.
35. Сычев, К.И. Моделирование процессов доставки информации в корпоративной АТМ сети / К.И. Сычев, А.О. Жуков, И.Ф. Михалевич // Электросвязь. - 2000. - №3. - С. 32-36.
36. Сычев, К.И. Математические модели процессов функционирования сетей передачи данных при применении современных телекоммуникационных технологий / К.И. Сычев, М.А. Сонькин // Телекоммуникации. - 2005. - № 11. - С. 2-5.
37. Сычев, К.И. Многокритериальное проектирование мультисервисных сетей связи / К.И. Сычев // Телекоммуникации. - № 9. - 2007. - С. 2-7.
38. Сычев, К.И. Математические модели узлов коммутации мультисервисных сетей связи / К.И. Сычев // Электросвязь. - 2008. - № 2. - С. 24-28.
39. Сычев, К.И. Моделирование процессов доставки информации и обеспечение информационной безопасности в корпоративных АТМ-сетях / К.И. Сычев, А.О. Жуков, И.Ф. Михалевич // Проблемы информатизации. - 2000. - С. 63-65.
40. Сычев, К.И. Алгоритм оптимизации сетей связи при ограничении затрат на их построение / К.И. Сычев, В.Р. Кравченко, А.Ю. Александров // Сборник научных трудов Академии ФАПСИ. - № 15. - Орёл: Академия ФАПСИ, 2003. - С. 71-82.
41. Программа для ЭВМ 2006610159 Российская Федерация. Программный комплекс для анализа эффективности и оптимизации построения сетей связи / Сычев К. И., Кулаев А. В., Невров А. А.; заявл. 22.08.05; опубл. 10.01.06.
42. Дьяконова, Е.Г. Роль институтов гражданского общества в развитии информационного общества в РК / Е.Г. Дьяконова // Электросвязь. - 2008. - №6. - С. 2-4.
43. Кузовкова, Т.А. Анализ развития российского рынка инфокоммуникаций / Т.А. Кузовкова, Д.В. Кузовков // Электросвязь. - 2008. - №2. - С. 8-11.
44. Яновский, Г.Г. Качество обслуживания в IP сетях / Г.Г. Яновский // Вестник связи. - 2008. - № 1. - С. 65-74.
45. Гольдштейн, А.Б. Подводная часть айсберга по имени NGN. Часть 2. // Технологии и средства связи / А.Б. Гольдштейн, Н.А. Соколов. - 2006. - №3.
46. Гольдштейн, Б.С. Softswitch / А.Б. Гольдштейн, Б.С. Гольдштейн. - СПб.: БХВ-Петербург, 2006. - 368 с.

47. Росляков, А.В. IP-телефония / А.В. Росляков, В.Ю. Самсонов, И.В. Шиббаева. - М.: Эко-Трендз, 2001. - 250 с.
48. Rosen, E. Multiprotocol Label Switching Architecture, RFC 3031, January 2001 / E. Rosen, A. Viswanathan, R. Callon.
49. Rosen, E. MPLS Label Stack Encoding, RFC 3032, January 2001 / E. Rosen, Y. Rekhter, D. Tappan, G. Fedorkow, D. Farinacci, A. Conta.
50. Davie, B. MPLS Using LDP и ATM VC Switching, RFC 3035 / B. Davie, J. Lawrence, K. McCloghrie, Y. Rekhter, E. Rosen, G. Swallow.
51. Гиттик, Ю. Новые услуги на основе MPLS / Ю. Гиттик // Сети и системы связи. - 2003. - №6.
52. Харитонов, В.Х. Мультисервисная сеть и методы коммутации / В.Х. Харитонов // Электросвязь. - 2004. - №1.
53. Олифер, В. MPLS на службе VPN / В. Олифер, Н. Олифер // Журнал сетевых решений LAN. - 2002. - №3.
54. Олифер, В. Искусство оптимизации трафика / В. Олифер, Н. Олифер // Журнал сетевых решений LAN. - 2001. — №11.
55. Олвейн, В. Структура и реализация современной технологии MPLS / В. Олвейн. - М.: Бином-Пресс, 2004.
56. Нетес, В.А. Задание требований по надёжности в соглашениях об уровне обслуживания / В.А. Нетес // Электросвязь. - 2004. - №4.
57. Каледина, Н.Н. Принципы проектирования корпоративных сетей / Н.Н. Каледина, Е.Н. Скуратовская // Электросвязь. - 2002. - №9. - С. 4-5.
58. ГОСТ Р ИСО/МЭК 15408-2002. Методы и средства обеспечения безопасности. Критерии оценки безопасности информационных технологий. - М.: Изд-во стандартов, 2002.
59. Новиков, А.А. Уязвимость и информационная безопасность телекоммуникационных технологий. Учебное пособие для вузов / А.А. Новиков, Г.Н. Устинов. - М.: Радио и связь, 2003. — 296 с.
60. Устинов, Г.Н. Обеспечение качества обслуживания сетей передачи данных в условиях преднамеренных информационных воздействий нарушителя / Г.Н. Устинов, В.А. Сердюк // Ведомственные и корпоративные сети связи. - 2001.
61. Шварцман, В.О. Выбор технологии передачи и коммутации в мультисервисных сетях на основе оптических кабелей / В.О. Шварцман // Электросвязь. - 2003, - №8. - С. 33-39.
62. Бакланов, И.Г. NGN: Принципы построения и организации / И.Г. Бакланов. - М.: Эко-Трендз, 2008. - 400 с.
63. Корнеев, В.П. Методы оптимизации: Учебник / В.П. Корнеев. - М.: Высшая школа, 2007. - 664 с.
64. Дымарский, Я.С. Мультиоптимизация систем связи [Электронный ресурс] / Я.С. Дымарский, М.В. Нурмиева. <http://www.niits.ru>
65. Коцыняк, М.А. Теория и практика защиты многоканальных сетей радиосвязи от системы комплексного воздействия. Часть 1. Модель

противоборства систем воздействия и связи / М.А. Коцыняк, С.А. Якушенко, С.С. Веркин, М.О. Дворовой. - СПб.: ВАС, 2007. - 128 с.

66. Крылов, В.В. Теория телетрафика и её приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 288 с.

67. Фомин, Л.А. Причины самоподобности в сетевом трафике / Л.А. Фомин, Г.И. Линец, Д.В. Шлаев, С.В. Калашников // Электросвязь. - 2008. - № 2. - С. 2023.

68. Верёвкина, Е.В. Тензорная методология исследования нагрузки в информационных сетях / Е.В. Верёвкина, О.А. Корякина, М.Н. Петров. - Красноярск: НИИ СУВПТ, 2004. - 105 с.

69. Бакланов, И.Г. NGSDN: успех неизбежен / И.Г. Бакланов // Connect! Мир связи.-2004.-№11.

70. Гольдштейн, Б.С. Программные коммутаторы Softswitch: вчера, сегодня и ... / Б.С. Гольдштейн // Технологии и средства связи. - 2005. - №2.

71. Росляков, А.В. Разработка моделей и методов анализа виртуальных частных сетей с учётом особенностей их практической реализации: Автореферат диссертации на соискание учёной степени доктора технических наук / А.В. Росляков. - Самара: 2008.

72. Башарин, Г.П. Лекции по математической теории телетрафика: Учебное пособие. Изд. 2-е испр. и доп. / Г.П. Башарин. - М.: РУДН, 2007. - 268 с.

73. Петров, В.В. Структура телетрафика и алгоритм обеспечения качества обслуживания при влиянии эффекта самоподобия: Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук /В.В. Петров. - М.: МЭИ (ТУ), 2004. - 199 с.

74. Кучерявый, Е.А. Управление трафиком и качество обслуживания в сети Интернет / Е.А. Кучерявый. - М.: Наука и техника, 2004. - 336 с.

75. Осин, А.В. Влияние самоподобности трафика на качество обслуживания в телекоммуникационных сетях: Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук / А.В. Осин. - М.: МЭИ (ТУ), 2005. - 20 с.

76. www.niits.ru

77. www.citforum.ru

78. Nabrahabr.ru

79. Google.com

80. www.wikipedia.org

Список сокращений

АСШС - асимптотически самоподобный в широком смысле;

БКП - быстрая коммутация пакетов;

ГСПК - глобальная система показателей качества;

ГТС – городская телефонная сеть;

ДВИД - деструктивные информационные воздействия;

ИКТ - информационно-коммуникационные технологии;

КП – коммутация пакетов;

ЛВС – локальная вычислительная сеть;

МАК – мультисервисный абонент концентратор;

МСС – мультисервисная сеть связи;

ООД – окончное оборудование данных;

СПД – сеть передачи данных;

AAL - ATM Adaptation Layer - уровень адаптации ATM;

ABR - Available Bit Rate - доступная битовая скорость;

AG - Access Gateway - шлюз доступа;

ATM - Asynchronous Transfer Mode - асинхронный режим передачи;

DWDM - Dense Wavelength Division Multiplexing - плотное волновое мультиплексирование;

FTTx - Fiber To The x — волоконно-оптическая линия связи до точки x;

IAD - Integrated Access Device - интегрированное устройство доступа;

IETF - Internet Engineering Task Force - инженерная группа поддержки Интернет;

IMS - IP Multimedia Subsystem - мультимедийная подсистема на базе протокола IP;

MGC - Media Gateway Controller (Softswitch) - контроллер шлюза среды передачи (сервер управления вызовами);

MPLS - Multiprotocol Label Switching - быстрая коммутация пакетов в многопротокольных сетях;

NGN - Next Generation Network - сеть связи следующего поколения;

QoS - Quality of Service - качество обслуживания;

SDH - Synchronous Digital Hierarchy - синхронная цифровая иерархия;

SIP - Session Initiation Protocol - протокол инициализации мультимедийного сеанса связи;

TCP - Transport Control Protocol - транспортный протокол;
VPN - Virtual Private Network - виртуальная частная сеть.

Приложение А

GPSS World Simulation Report - Untitled Model 1.1.1

Monday, December 09, 2013 15:46:57

| START TIME | END TIME | BLOCKS | FACILITIES | STORAGES |
|------------|--------------|--------|------------|----------|
| 0.000 | 10000000.000 | 19 | 0 | 1 |

| NAME | VALUE |
|-----------|-----------|
| AGGM | 1.000 |
| ALFA | 1.400 |
| DPPARETO | 10007.000 |
| DPPARETOL | 10008.000 |
| DPPARETOM | 10009.000 |
| I1 | 10012.000 |
| L3 | 10013.000 |
| MET1 | 2.000 |
| MET2 | 15.000 |
| MET3 | 17.000 |
| PACK | 10006.000 |
| SUM1 | 10011.000 |
| TAB1 | 10010.000 |
| TL1 | 5000.000 |
| TL2 | 100.000 |
| TM1 | 1000.000 |

USTR

10005.000

| LABEL | LOC | BLOCK TYPE | ENTRY COUNT | CURRENT COUNT | RETRY |
|-------|-----|------------|-------------|---------------|-------|
| | 1 | GENERATE | 35 | 0 | 0 |
| MET1 | 2 | ADVANCE | 17232 | 30 | 0 |
| | 3 | ENTER | 17202 | 0 | 0 |
| | 4 | ADVANCE | 17202 | 5 | 0 |
| | 5 | LEAVE | 17197 | 0 | 0 |
| | 6 | TRANSFER | 17197 | 0 | 0 |
| | 7 | GENERATE | 99999 | 0 | 0 |
| | 8 | SAVEVALUE | 99999 | 0 | 0 |
| | 9 | SAVEVALUE | 99999 | 0 | 0 |
| | 10 | TEST | 99999 | 0 | 0 |
| | 11 | TABULATE | 99999 | 0 | 0 |
| | 12 | SAVEVALUE | 99999 | 0 | 0 |
| | 13 | SAVEVALUE | 99999 | 0 | 0 |
| | 14 | SAVEVALUE | 99999 | 0 | 0 |
| MET2 | 15 | SPLIT | 99999 | 0 | 0 |
| | 16 | TERMINATE | 99999 | 0 | 0 |
| MET3 | 17 | TERMINATE | 563274 | 0 | 0 |
| | 18 | GENERATE | 1 | 0 | 0 |
| | 19 | TERMINATE | 1 | 0 | 0 |

STORAGE CAP. REM. MIN. MAX. ENTRIES AVL. AVE.C. UTIL. RETRY DELAY

USTR 100 95 0 15 17202 1 5.632 0.056 0 0

| TABLE | MEAN | STD.DEV. | RANGE | RETRY FREQUENCY | CUM.% |
|-------|----------|----------|-------|-----------------|-------|
| TAB1 | 5.633 | 2.143 | 0 | | |
| | _ - | 0.000 | 265 | 0.27 | |
| | 0.000 - | 1.000 | 1360 | 1.63 | |
| | 1.000 - | 2.000 | 4726 | 6.35 | |
| | 2.000 - | 3.000 | 9560 | 15.91 | |
| | 3.000 - | 4.000 | 15355 | 31.27 | |
| | 4.000 - | 5.000 | 17898 | 49.16 | |
| | 5.000 - | 6.000 | 17895 | 67.06 | |
| | 6.000 - | 7.000 | 13887 | 80.95 | |
| | 7.000 - | 8.000 | 9523 | 90.47 | |
| | 8.000 - | 9.000 | 5376 | 95.85 | |
| | 9.000 - | 10.000 | 2618 | 98.46 | |
| | 10.000 - | 11.000 | 1061 | 99.52 | |
| | 11.000 - | 12.000 | 342 | 99.87 | |
| | 12.000 - | 13.000 | 94 | 99.96 | |
| | 13.000 - | 14.000 | 37 | 100.00 | |
| | 14.000 - | 15.000 | 2 | 100.00 | |

| SAVEVALUE | RETRY | VALUE |
|-----------|-------|-------|
| SUM1 | 0 | 0 |
| I1 | 0 | 0 |
| L3 | 0 | 4.000 |

| CEC XN | PRI | M1 | ASSEM | CURRENT | NEXT | PARAMETER | VALUE |
|--------|-----|--------------|--------|---------|------|-----------|-------|
| 663306 | 0 | 10000000.000 | 663306 | 0 | 7 | | |

| FEC XN | PRI | BDT | ASSEM | CURRENT | NEXT | PARAMETER | VALUE |
|--------|-----|-----|-------|---------|------|-----------|-------|
|--------|-----|-----|-------|---------|------|-----------|-------|

| | | | | | |
|--------|---|--------------|--------|---|----|
| 22 | 0 | 10000908.808 | 22 | 4 | 5 |
| 4 | 0 | 10001051.902 | 4 | 4 | 5 |
| 30 | 0 | 10001053.942 | 30 | 2 | 3 |
| 27 | 0 | 10001194.737 | 27 | 2 | 3 |
| 37 | 0 | 10001795.207 | 37 | 4 | 5 |
| 9 | 0 | 10005398.626 | 9 | 2 | 3 |
| 12 | 0 | 10007776.472 | 12 | 2 | 3 |
| 33 | 0 | 10008264.968 | 33 | 2 | 3 |
| 26 | 0 | 10008441.646 | 26 | 2 | 3 |
| 6 | 0 | 10008883.191 | 6 | 2 | 3 |
| 25 | 0 | 10009199.010 | 25 | 2 | 3 |
| 24 | 0 | 10009317.877 | 24 | 2 | 3 |
| 8 | 0 | 10011684.439 | 8 | 2 | 3 |
| 23 | 0 | 10011976.171 | 23 | 2 | 3 |
| 10 | 0 | 10012642.557 | 10 | 2 | 3 |
| 36 | 0 | 10014172.203 | 36 | 2 | 3 |
| 7 | 0 | 10014179.025 | 7 | 2 | 3 |
| 34 | 0 | 10016593.116 | 34 | 2 | 3 |
| 13 | 0 | 10022018.476 | 13 | 2 | 3 |
| 16 | 0 | 10042890.394 | 16 | 2 | 3 |
| 38 | 0 | 10056011.804 | 38 | 4 | 5 |
| 29 | 0 | 10078341.169 | 29 | 2 | 3 |
| 28 | 0 | 10137072.276 | 28 | 2 | 3 |
| 5 | 0 | 10165027.456 | 5 | 2 | 3 |
| 11 | 0 | 10306783.617 | 11 | 2 | 3 |
| 663311 | 0 | 20000000.000 | 663311 | 0 | 18 |

Приложение Б

GPSS World - Untitled Model 1.1.1 - REPORT

File Edit Search View Command Window Help

Untitled Model 1

```

ALFA EQU 1.4
TL1 EQU 5000
TM1 EQU 1000
TL2 EQU 100
AGGM EQU 1
USTR STORAGE 100
PACK FVARIABLE X$SUM1/X$I1
DPPARETO FVARIABLE PARETO(1,1,ALFA)
DPPARETOL FVARIABLE TL1#PARETO(1,1,ALFA)
DPPARETOM FVARIABLE TM1#PARETO(1,1,ALFA)
TAB1 TABLE V$PACK,0,1,100
      INITIAL X$SUM1,0
      INITIAL X$I1,0
      INITIAL X$L3,0
      *** 1 blok ***
      GENERATE V$DPPARETO,,,35
MET1 ADVANCE V$DPPARETOL
      ENTER USTR
      ADVANCE V$DPPARETOM
      LEAVE USTR
      TRANSFER MET1
      *** 2 blok ***
      GENERATE TL2
      SAVEVALUE SUM1+,S$USTR
      SAVEVALUE I1+,1
      TEST E X$I1,AGGM,MET2
      TABULATE TAB1
      SAVEVALUE L3,V$PACK
      SAVEVALUE SUM1,0
      SAVEVALUE I1,0
MET2 SPLIT X$L3,MET3
      TERMINATE
      *** 3 blok ***
MET3 TERMINATE
      *** 4 blok ***
      GENERATE 10000000
    
```

Untitled Model 1.1.1 - REPORT

| STORAGE | CAP. | REM. | MIN. | MAX. | ENTRIES | AVL. | AVE.C. | UTIL. | RETRY | DELAY |
|---------|------|------|------|------|---------|------|--------|-------|-------|-------|
| USTR | 100 | 95 | 0 | 15 | 17202 | 1 | 5.632 | 0.056 | 0 | 0 |

| TABLE | MEAN | STD.DEV. | RANGE | RETRY | FREQUENCY | CUM.% |
|-------|-------|----------|----------|--------|-----------|--------|
| TAB1 | 5.633 | 2.143 | | 0 | | |
| | | | 0.000 - | 0.000 | 265 | 0.27 |
| | | | 1.000 - | 1.000 | 1360 | 1.63 |
| | | | 2.000 - | 2.000 | 4726 | 6.35 |
| | | | 3.000 - | 3.000 | 9560 | 15.91 |
| | | | 4.000 - | 4.000 | 15355 | 31.27 |
| | | | 5.000 - | 5.000 | 17898 | 49.16 |
| | | | 6.000 - | 6.000 | 17895 | 67.06 |
| | | | 7.000 - | 7.000 | 13887 | 80.95 |
| | | | 8.000 - | 8.000 | 9523 | 90.47 |
| | | | 9.000 - | 9.000 | 5376 | 95.85 |
| | | | 10.000 - | 10.000 | 2618 | 98.46 |
| | | | 11.000 - | 11.000 | 1061 | 99.52 |
| | | | 12.000 - | 12.000 | 342 | 99.87 |
| | | | 13.000 - | 13.000 | 94 | 99.96 |
| | | | 14.000 - | 14.000 | 37 | 100.00 |
| | | | 15.000 - | 15.000 | 2 | 100.00 |

| SAVEVALUE | RETRY | VALUE |
|-----------|-------|-------|
| SUM1 | 0 | 0 |
| I1 | 0 | 0 |
| L3 | 0 | 4.000 |

| CEC XN | PRI | M1 | ASSEM | CURRENT | NEXT | PARAMETER | VALUE |
|--------|-----|--------------|--------|---------|------|-----------|-------|
| 663306 | 0 | 10000000.000 | 663306 | 0 | 7 | | |

| FEC XN | PRI | BDT | ASSEM | CURRENT | NEXT | PARAMETER | VALUE |
|--------|-----|--------------|-------|---------|------|-----------|-------|
| 22 | 0 | 10000908.808 | 22 | 4 | 5 | | |

Активация Windows
 параметрам компьютера.