

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А. А. Гладких

РАЗВИТИЕ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СЕТИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Учебное пособие
с описанием комплекса лабораторных работ

Ульяновск
УлГТУ
2017

УДК 621.395: 004.738 (075.8)

ББК 32.811.7я7

Г 52

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Смагин А. А.;
кафедра «Информатика» Ульяновского института гражданской
авиации имени Главного маршала авиации Б. П. Бугаева,
заведующий кафедрой канд. воен. наук Толстов К. А.

*Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Гладких, Анатолий Афанасьевич

Г 52 Развитие сетевых технологий и сети нового поколения : учебное
пособие с описанием комплекса лабораторных работ / А. А.
Гладких. – Ульяновск : УлГТУ, 2017. – 146 с.

ISBN 978-5-9795-1657-8

Учебное пособие предназначено для подготовки студентов бакалавриата по направлению 11.03.02 «Информационные технологии и системы связи» профиля «Сети связи и системы коммутации». В книге кратко рассматриваются основные направления развития сетевых технологий, оцениваются их достоинства и недостатки, устранение которых явилось предпосылкой к созданию концепции и реализации технологии сетей нового поколения. В пособии приводится описание и даются методические указания по выполнению лабораторных работ, связанных с исследованием методом аналитического моделирования элементов организации сети доступа, управления сетевыми ресурсами и системой коммутации пакетов.

Книга предназначена для студентов в ходе их подготовки к лекционным и лабораторным работам, а также для организации самостоятельной работы в рамках учебной дисциплины «Сети нового поколения».

УДК 621.395:004.738 (075.8)

ББК 32.811.7я7

© Гладких А. А., 2017

© Оформление. УлГТУ, 2017

ISBN-978-5-9795-1657-8

ОГЛАВЛЕНИЕ

Список сокращений	5
Введение	6
Раздел 1. Основные этапы эволюции сетевых технологий	10
1.1. Закономерности развития телекоммуникационных технологий	10
1.2. Важные аспекты цифровизации корпоративных сетей связи	16
1.3. Обзор концептуальных принципов создания ISDN	19
1.4. Проблемы, связанные с построением сетей ISDN.....	22
1.5. Транспортные сети. Основные понятия и определения.....	24
1.6. Высокоуровневые услуги глобальных сетей.....	28
1.7. Типы коммутации глобальных сетей	30
1.8. Технологии и протоколы территориальных сетей связи	32
1.9. Технология FRAME RELAY	36
1.10. Контрольные вопросы	43
Раздел 2. Краткая характеристика сетевой технологии ATM	44
2.1. Построение высокоскоростных сетей с технологией ATM.....	44
2.2. Частный интерфейс пользователь-сеть (Private UNI)	48
2.3. Интерфейс пользователь-сеть (Public UNI)	49
2.4. Структура ячейки ATM	52
2.5. Определение границ ячеек при использовании SDH	55
2.6. Виртуальные соединения	56
2.7. Виртуальные пути и виртуальные каналы	58
2.8. Приоритет потери ячейки.....	59
2.9. Категории обслуживания ATM	59
2.10. Классификация услуг.....	60
2.11. Управление трафиком	64
2.12. Контрольные вопросы	66
Раздел 3. Основные принципы реализации сетей нового поколения	67
3.1. Основная концепция сетей нового поколения	67
3.2. Идеологические принципы построения сети NGN	69
3.3. Трехуровневая архитектура NGN.....	73
3.4. Транспортный уровень. Транспортные сети.....	78
3.5. Уровень управления коммутацией и передачей информации	81
3.6. Уровень управления услугами.....	83
3.7. Варианты конвергенции NGN	85
3.8. Softswitch и IMS: сходства и различия.....	94
3.9. Контрольные вопросы	96

Раздел 4. Описание комплекса лабораторных работ	98
4.1. Лабораторная работа № 1. Определение связности сети, численные исследования транспортных сетей различных структур	98
4.2. Лабораторная работа № 2. Расчет показателей эффективности статистического мультиплексирования в зависимости от параметров источника	104
4.3. Лабораторная работа № 3. Расчет вероятности доставки сообщений в сложной сети связи	109
4.4. Лабораторная работа № 4. Оценка параметров коммутаторов АТМ нокаутного типа	112
4.5. Лабораторная работа № 5. Исследование модели процесса поступления ячеек на вход коммутатора в виде независимых испытаний Бернулли	114
4.6. Лабораторная работа № 6. Исследование возможностей входных буферных накопителей коммутатора матричного типа	118
Заключение	122
Библиографический список	123
Приложение 1. Характеристики служб и классов пользователей	124

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ВОЛС	Волоконно – оптические линии связи
ИКМ	Импульсно-кодовая модуляция
ЛВС	Локальная вычислительная сеть
МСЭ	Международный союз электросвязи
ОП	Сети связи общего пользования
РЧС	Радиочастотный спектр
ЭМВОС	Эталонная модель взаимодействия открытых систем
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line – асимметричная цифровая абонентская линия
ATM	Asynchronous Transfer Mode – режим асинхронной передачи
B-ISDN	Broad Band – Integrated Services Digital Network – широкополосная цифровая сеть с интеграцией служб
BRI	Basic Rate Interface – два цифровых канала по 64 кбит/с (канал В) и однополосный канал сигнализации D со скоростью 16кбит/с
CATV	Cable Access Television – кабельное телевидение
CDMA	Code Division Multiple Access – множественный доступ с кодовым разделением каналов
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution – цифровая технология для мобильной связи
GPRS	General Packet Radio Service – технология беспроводной пакетной передачи данных
GSM	Global System for Mobile communications – глобальная система мобильной связи
ISDN	Integrated Services Digital Network – цифровые системы интегрального обслуживания
LTE	Long-Term Evolution – стандарт беспроводной высокоскоростной передачи
NCP	Network Control Protocol – стандарт сетевого протокола
NGN	Next Generation Networks – сети связи нового поколения
SDN	Software-Defined Networking – программно-определяемая сеть или программно-конфигурируемая сеть
TDMA	Time Division Multiple Access – множественный доступ с разделением времени
TCP	Transmission Control Protocol – протокол передачи данных
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System – универсальная мобильная телекоммуникационная система
Wi-Fi	Wireless Fidelity – беспроводная сеть

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение информационных и коммуникационных технологий (ИКТ) в различных сферах деятельности – один из важнейших факторов становления информационного общества, повышения уровня жизни и благосостояния граждан, обеспечения конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности государства в целом, любой отрасли промышленного производства, отдельных корпораций и предприятий. Современные ИКТ организуются и создаются как взаимоувязанные системы информационного обмена и телекоммуникаций на основе интегрирования перспективных систем связи, включая наземные и спутниковые, сотовые и волоконно-оптические линии связи и их развитие с использованием элементной базы нового поколения.

В Федеральном законе «О связи» 2003 года (126-ФЗ) определено, что единая сеть электросвязи Российской Федерации (РФ) состоит из расположенных на территории РФ сетей электросвязи, которые делятся на категории:

- сети связи общего пользования (ОП);
- выделенные сети связи;
- технологические сети связи, присоединяемые к сети связи ОП;
- сети связи специального назначения и другие сети связи для передачи информации при помощи электромагнитных систем.

В ходе реформирования экономики РФ некоторые из названных сетевых структур перешли в собственность акционерных обществ, обеспечивающих в современных условиях нужды соответствующих отраслей, что привело к появлению термина «корпоративные сети связи», который закрепился в современной литературе по описанию ряда сетевых структур. Как правило, под корпорацией понимается объединение различных бизнесов с общим финансовым контролем, и

главной задачей любой корпорации является получение прибыли. Из редакции закона «О связи» становится ясно, что законодательно термин «корпоративные сети» в настоящее время формально выведен из употребления. Однако подобные сети являются яркими представителями процесса интеграции телекоммуникационных систем с широким предоставлением абонентам телематических услуг. Именно подобные сети определяют материальную основу эффективного управления бизнесом. Корпоративные сети в рамках новой терминологии можно отнести либо к технологическим, либо к выделенным сетям связи, поскольку и те другие допускают взаимодействие с зарубежными партнерами.

Достижения микроэлектроники и перспективы ее развития на ближайшие десятилетия позволяют реализовать сложные алгоритмы обработки информации с элементами интеллектуализации устройств, обеспечивающих информационный процесс. Это способствует существенному прогрессу в области создания современных систем связи, оперирующих большими объемами информации в реальном масштабе времени [2, 5, 7].

Другим важным направлением в развитии ИКТ является активное внедрение средств цифровизация информационных потоков, что привело к решительному и динамичному изменению сетевых технологий, выразившихся в появлении концепции сетей связи следующего поколения (Next Generation Networks – NGN), или сетей нового поколения. За последнее время основные положения по архитектуре таких сетей нашли широкое практическое применение в оборудовании ведущих телекоммуникационных компаний для сетей общего пользования и корпоративных сетей связи: Alcatel, Avaya, Cisco, Nortel, Siemens и других. Почти каждый год выпускают на рынок оборудование, позиционируемое как средства для сетей нового поколения. Все эти фирмы представлены на российском

телекоммуникационном рынке и являются основными конкурентами российских производителей [3, 4, 5].

Новые подходы в равной мере представляют интерес как для операторов сетей общего пользования, так и для операторов ведомственных и корпоративных сетей связи. Несмотря на то что корпоративные сети, как правило, имеют определенную профессиональную ориентацию и специализацию, при их развитии нельзя не учитывать мировой опыт, сконцентрированный в идеологии построения NGN, базовыми принципами которых являются разделение функций переноса и коммутации, функций управления вызовом и функций управления услугами.

Ключевым понятием в системах нового поколения становится «услуга», т. е. та функциональность, которая требуется пользователю системы и потенциально может быть ему предоставлена. Именно перечень услуг, уровень гарантированного качества их предоставления, обеспечение безопасности доступа к услуге в будущем будут определять перспективность и конкурентоспособность инфокоммуникационных систем нового поколения. В связи с этим телекоммуникационные сети все чаще рассматриваются как среда, призванная обеспечить предоставление пользователям широкого перечня телематических ресурсов на качественно новом уровне.

Концепция NGN предусматривает поддержку неограниченного набора услуг с гибкими возможностями по их управлению, реализацию универсальной транспортной мультипротокольной сети с распределенной коммутацией, интеграцию с традиционными сетями связи.

Естественно, концепция создания и развития сетей NGN возникла на базе накопленного и обобщенного опыта практического использования сетевых технологий ранних поколений: X.25, позволяющей передавать только данные (применяется в настоящее

время в системе банкоматов); технологии Frame Relay (FR), позволившей передавать не только данные, но и оцифрованный голос, технологии цифровых систем интегрального обслуживания (Integrated Services Digital Network – ISDN), обеспечивающей передачу мультимедийного трафика (данные, голос, видео) и нашедшей свое отражение в технологии [коммутации](#), [мультиплексировании](#) и асинхронной передачи данных (Asynchronous Transfer Mode – ATM). Отдельные элементы указанных технологий нашли свое отражение в NGN с общей тенденцией максимального использования возможностей имеющихся сетевых ресурсов.

Первый раздел учебного пособия посвящен анализу закономерностей развития телекоммуникационных технологий, в котором показаны этапы цифровизации корпоративных сетей связи. Используя данный материал, можно предсказать наиболее вероятные пути развития сетевых технологий.

Второй раздел направлен на относительно подробное изложение принципов реализации технологии ATM. На примере этой технологии демонстрируется принцип управления трафиком, излагаются особенности организации взаимодействия сети с абонентом.

Третий раздел посвящен концептуальным основам построения сетей NGN, показаны направления развития системы управления трафиком с использованием тонкого (мягкого) оценивания его основных параметров.

Четвертый раздел учебного пособия представляет сборник лабораторных работ, которые позволяют закрепить навыки количественной оценки важнейших параметров современных сетевых структур.

Раздел 1. ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ЭВОЛЮЦИИ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

1.1. Закономерности развития телекоммуникационных технологий

Любое техническое решение, любая технология в своем развитии проходит три этапа: этап зачаточного состояния технического решения и внедрения в практику, период расцвета и интенсивного использования и, наконец, период замены одних технических решений другими более рациональными и более эффективными в том или ином смысле. Следует понимать, что исходным для понимания этого процесса является положение о том, что всякое развитие складывается из последовательности циклов. Цикличность – основа всякого развития. Цикл состоит из нескольких стадий: превращение предметов в противоположность (отрицание), превращение новой противоположности в свою противоположность (отрицание отрицания). Указанная закономерность показывает особенности циклического развития. Каждая более высокая ступень отрицает предыдущую и вместе с тем подымает ее на новый уровень, сохраняя положительное в содержании. Идет постоянное накопление положительных характеристик, реализация которых на новых технологических основах и принципах воплощает волнообразную эволюционную картину смены одной технологии другой, более совершенной. Суть подобной концепции заключается в том, что любая технология постепенно приходит на рынок, достигает своего максимального распространения и также постепенно уходит из процедуры рыночного оборота. Применительно к истории эволюции развития отдельных телекоммуникационных и сетевых технологий это может быть представлено в виде диаграммы, показанной на рисунке 1.1. Указанная закономерность показывает, что развитие идет через цепь диалектических отрицаний, которые обуславливают связь, преемственность между старым и новым, удержание положительного в старом и тенденцию поступательного развития с повторением отдельных черт прошлого на новой качественной основе [1].

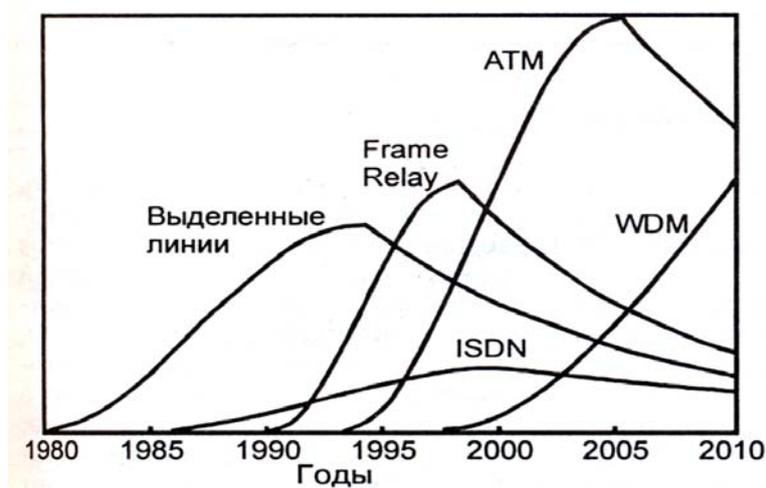


Рис. 1.1. Диаграмма волнового развитие сетевых технологий

Движущей силой дальнейшего развития мировой телекоммуникационной индустрии становится предоставление широкого спектра новых инфокоммуникационных услуг и их персонализация. Новые услуги и бизнес-модели получают все большее распространение, плоские (безлимитные) тарифные планы становятся привлекательными для разных категорий абонентов. Полный исторический обзор развития технологий передачи данных представлен на рисунке 1.2.

К настоящему времени пришло понимание того, что информация (контент), передаваемая по сети, приобретает более высокую ценность, чем доступ к самой сети. Только своевременное внедрение перспективных сетей связи позволяет обеспечить абонентам высокоскоростную передачу (прием) данных и мультимедиа независимо от их местоположения и скорости передвижения. Ряд операторов уже рассматривают конкретные сроки завершения работы сетей связи второго поколения (GSM и CDMA) с целью более эффективного использования высвобождающегося радиочастотного ресурса сетями связи третьего поколения. С развертыванием сетей связи HSDPA/HSUPA открываются широкие возможности для предоставления новых услуг и сервисов.

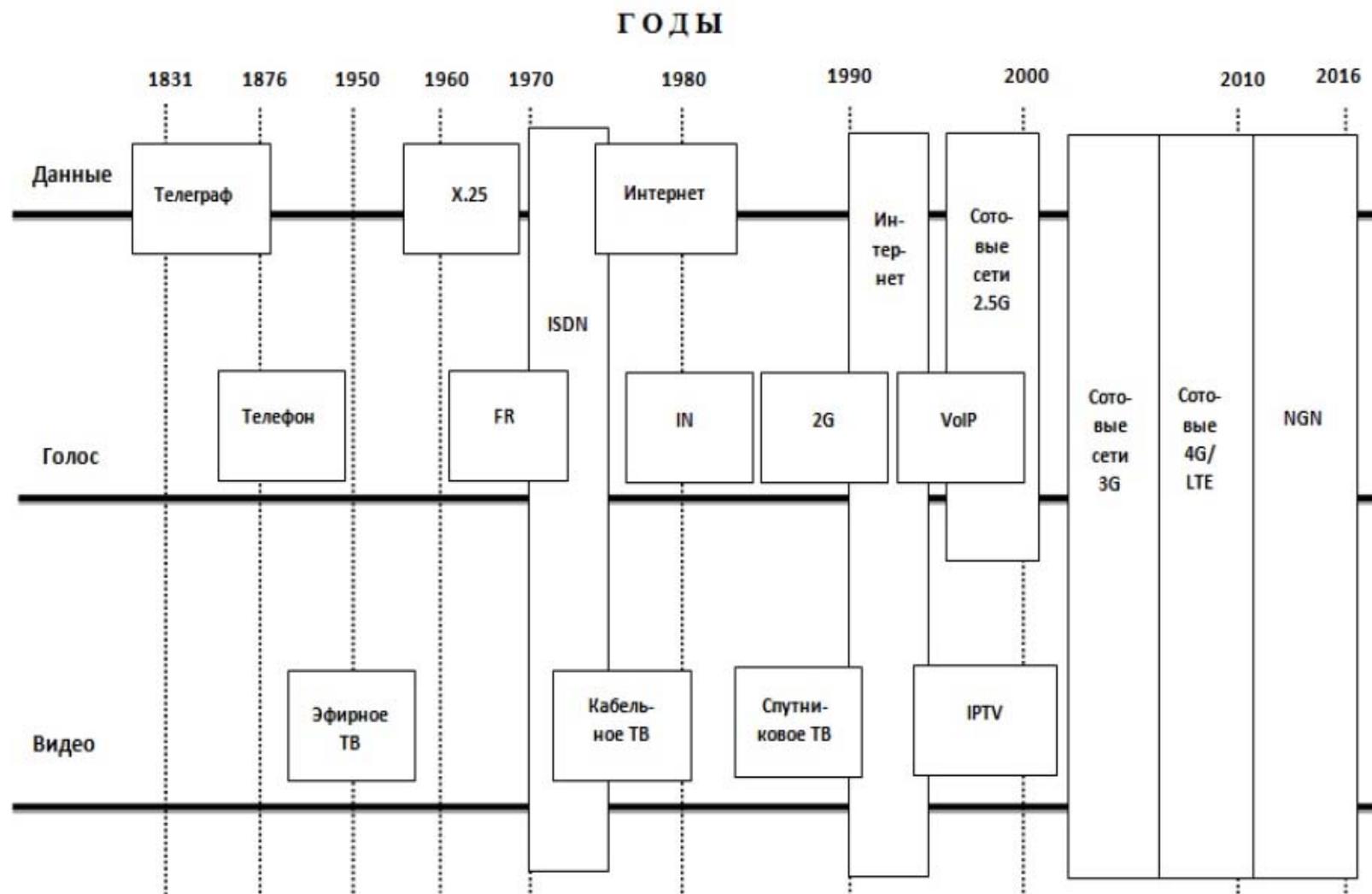


Рис. 1.2. Этапы развития современных сетевых технологий

Значительно повысить скорость пакетной передачи данных (до 10 Мбит/с) позволяет технология высокоскоростной передачи данных HSPA+, к внедрению которой приступил ряд радиооператоров. Скорости передачи данных в перечисленных сетях связи уже сравнимы со скоростями характерными для проводных систем высокоскоростной передачи данных.

Получили развитие и технологии широкополосного доступа: увеличилось количество зон покрытия Wi-Fi, началось строительство сетей мобильной связи WiMAX (IEEE 802.16e). Расширение возможностей доступа в высокоскоростные сети является актуальным для нашей страны, учитывая большую протяженность ее территории и относительно низкий уровень развития цифровой инфраструктуры связи. Однако, по мнению мировых экспертов, применение технологии WiMAX будет носить ограниченный характер из-за того, что сети данного стандарта могут быть востребованы операторами фиксированной связи для строительства «последней мили» или операторами сотовой связи для решения внутрисистемных транспортных вопросов, или в развивающемся рынке сельской местности. Вместе с этим, лавинообразный рост трафика уже не обеспечивает соответствующего роста доходов, как это было совсем недавно в отношении голосовой информации. Происходит разрыв между доходами операторов и расходами по расширению пропускной способности. Существенное снижение издержек операторов может быть обеспечено ускоренным внедрением более эффективных технологий следующего поколения с плоской архитектурой как, например, LTE-SAE.

Применение таких технологий в ближайшей перспективе позволяет увеличить скорость передачи данных до 100 Мбит/с, при этом предусматривается возможность дискретного расширения полосы радиочастот от 1,4 до 20 МГц.

Технология LTE-SAE, являющаяся эволюционным продолжением стандарта UMTS, обладает существенными техническими и функцио-

нальными преимуществами, что позволяет считать ее внедрение движущим фактором для развития новых услуг и бизнес-моделей.

Переход на цифровые методы передачи стирает различия между сигналами различных служб, допуская немислимое ранее объединение их в общий информационный поток. Таким образом, повышение спроса на услуги высокоскоростной передачи данных и требований к их качеству, ограниченность ресурсов существующих сетей, снижение доходов и рост затрат при сохранении экстенсивного характера дальнейшего развития вынуждают операторов перейти к ускоренному внедрению мобильного широкополосного доступа. Основные мировые тенденции в области управления РЧС в каждом конкретном периоде времени определяются соотношением противоборствующих между собой процессов гармонизации и либерализации его использования. Схематично эволюция сотовой связи и широкополосного доступа показана на рисунке 1.3.

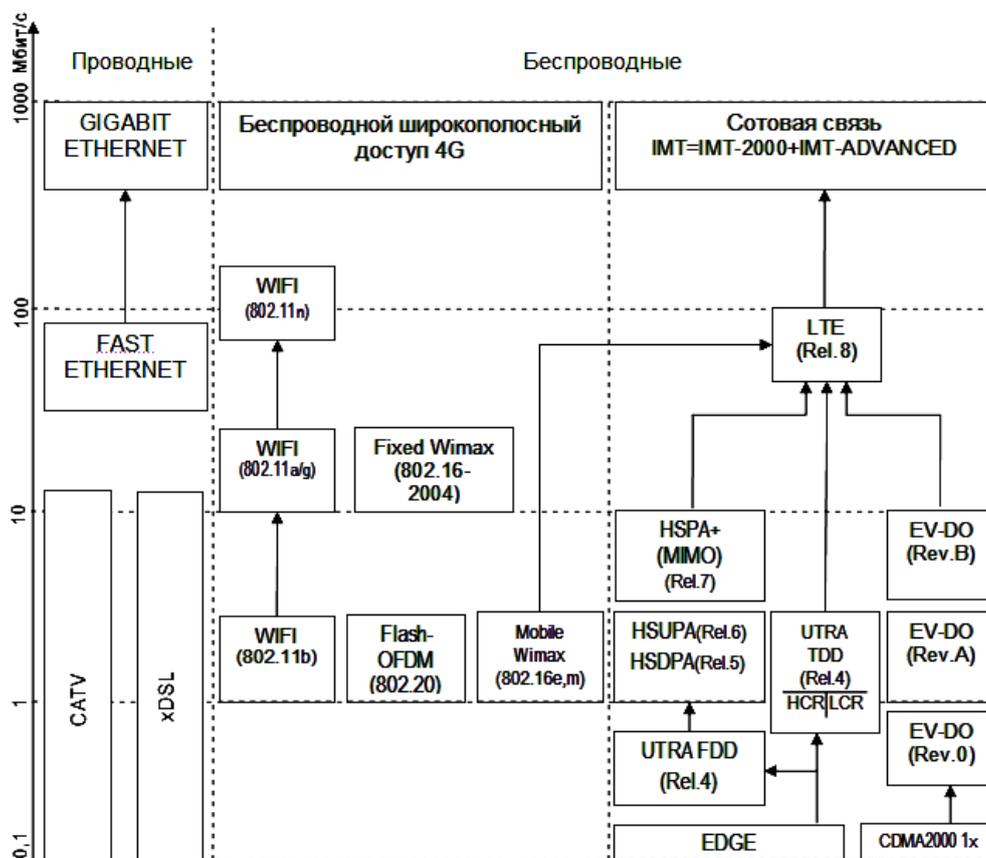


Рис. 1.3. Схема эволюции сотовой связи и широкополосного доступа

Гармонизация предполагает максимально возможное сближение распределений полос радиочастот в разных странах одного региона, что позволяет использовать одни и те же радиосредства на территории различных стран. Наглядным свидетельством успеха такого подхода служит быстрое распространение по всему миру технологии GSM. Однако в настоящее время при наличии других эффективных технологий, строгое соблюдение принципов гармонизации может оказаться фактором, тормозящим дальнейшее развитие рынка, поскольку этот процесс требует многочисленных согласований на международном уровне.

Либерализация повышает гибкость использования РЧС, позволяет его пользователям менять технологию предоставляемых услуг и перераспределять по установленным правилам имеющиеся в наличии радиочастоты. Таким образом, методы повышения эффективности управления РЧС подразделяются на административные, экономические, организационные и технические. Из перечисленных направлений новаторские технические решения представляют собой наиболее динамично изменяющуюся составляющую, поскольку она в наименьшей степени связана с рутинной процедурой согласований различных юридических деталей. Именно поэтому новые технические решения опосредованно оказывают положительное влияние на остальные составляющие процесса управления РЧС.

В современных условиях РЧС выделяется под конкретные технологии. Он характеризуется крайне неравномерной загрузкой и в ближайшем будущем станет общим ресурсом для обеспечения совместной работы радиоэлектронных средств различного назначения с широким использованием кодовых методов разделения информационных потоков и защиты их от ошибок. В первую очередь это связано с тем, что для мобильных каналов связи вероятность ошибки на символ достигает значения $p_s^{MC} \approx 10^{-2}$, для проводных каналов

значений $p_s^{ПП} \approx 10^{-4} \dots 10^{-6}$ и только в оптоволоконных линиях указанный параметр равен значению $p_s^{ОВЛ} \approx 10^{-12}$.

1.2. Важные аспекты цифровизации корпоративных сетей связи

Многие элементы глобальных сетей на ранних этапах своего развития рассчитывались, создавались и совершенствовались как аналоговые системы. Естественно, что последовавшее широкое внедрение цифровых методов обработки информации вызвало необходимость цифровизации подавляющего числа элементов корпоративных сетей связи.

Как уже отмечалось, ведомственные сети связи создаются и функционируют для обеспечения производственных и специальных нужд федеральных органов исполнительной власти, находятся в их ведении и эксплуатируются ими и в то же время могут быть использованы для оказания услуг связи любым физическим и юридическим лицам на возмездной основе. Ранее под «ведомством» понималась система центральных и местных органов и учреждений, ведающих какой-либо одной отраслью государственного управления и подчиненных одному руководству.

При реформировании экономики Российской Федерации отраслевые сети прежних ведомств перешли в собственность акционерных обществ, сегодня обеспечивающих нужды соответствующих отраслей (энергетики, транспорта и др.). В целях учета создавшегося положения и сохранения преемственности введено понятие «корпоративная сеть связи».

Это сеть электросвязи, создаваемая и используемая для обеспечения управления, безопасности и непрерывности технологических процессов и/или внутрипроизводственных целей, а также для обеспечения потребностей в услугах связи отдельных отраслей, организаций и их объединений. Корпоративные сети связи могут

также использоваться для оказания услуг связи любым юридическим и физическим лицам.

Ведомственные сети связи занимают особое положение в телекоммуникационной инфраструктуре Российской Федерации. Обеспечивая, прежде всего, отраслевые нужды, они вносят значительный вклад в развитие сетей связи общего пользования.

Наряду с сетями связи общего пользования корпоративные сети связи являются технической основой информатизации общества и начинают оказывать заметное влияние на формирование рынка услуг электросвязи. Корпоративные сети имеют развитую инфраструктуру на значительной части территории России, в том числе в тех регионах, где отсутствуют сети других операторов связи.

Однако действующие в настоящее время практически все ведомственные сети в основном пока базируются на аналоговых технологиях. Операторами связи ведомственных (корпоративных) сетей принимаются меры по техническому перевооружению и превращению их в полностью цифровые сети, отвечающие современным требованиям, предъявляемым отраслевыми системами управления технологическими и производственными процессами, а также другими пользователями, нуждающимися в высококачественных услугах связи.

На исходе XX столетия (см. рисунок 1.2) во многих странах получила признание и активно реализуется до настоящего времени концепция создания и развития цифровых систем интегрального обслуживания (Integrated Services Digital Network – ISDN), как генеральная линия совершенствования сетей связи. Согласно определению Международного союза электросвязи (МСЭ) под ISDN понимается сеть связи, в которой одни и те же устройства цифровой коммутации и цифровые тракты передачи используются одновременно для различных видов связи (телефонии, передачи данных и др.).

Уровень требований, предъявляемых к системам и сетям связи различных организаций, постоянно повышается по трем основным причинам:

- вследствие увеличения числа пользователей;
- объективного расширения числа предоставляемых видов услуг, в которых заинтересованы абоненты;
- повышения уровня требований к качеству обслуживания (прежде всего к вероятности блокировки, к времени доставки информации и ее достоверности).

При проектировании современной ведомственной или корпоративной сети связи предпочтение должно быть отдано цифровым методам связи, что объясняется следующими причинами:

- возможностью цифровой передачи любых известных сигналов электросвязи;
- возможностью контроля качества приема цифровых сигналов по единственному показателю;
- характеристике цифровых ошибок, что позволяет определить отрезки сигналов пониженного качества, требующие повторной передачи (для сигналов не в реальном масштабе времени, допускающих перезапрос) и требующие исправления без перезапроса (для сигналов в реальном масштабе времени);
- существенным упрощением эксплуатации цифровых средств и повышением надежных показателей каналов и трактов, что связано как с упрощением диагностики неисправностей, так и с возможностью восстановления каналов и трактов на основе использования программно-вычислительных средств и широко применяемой за рубежом аппаратуры оперативного переключения цифровых каналов и трактов;
- возможностью использования для передачи цифровых сигналов любых широкополосных направляющих сред (в первую очередь оптических волокон и спутниковых каналов);

- возможностью применения унифицированных средств обеспечения безопасности процессов передачи и обработки информации;
- прекращением производства аналоговых средств связи.

1.3. Обзор концептуальных принципов создания ISDN

Данные статистики свидетельствуют, что среднегодовые темпы прироста емкости телефонных сетей составляют 5...7%, мобильной связи – 80...90%, числа интернет-хостов – 80...90%. Широко внедряется в практику конференцсвязь, телефонная почта, электронная почта, поиск информации, запросы данных. Практика показывает, что со временем появляются новые сервисы и новые требования к качеству обработки информации. Появляющиеся запросы на новые виды служб требуют для осуществления широкополосного цифрового канала. Это, прежде всего, черно-белый и цветной видеотелефон, видеоконференцсвязь, цветной факсимиле, видеопочта, поиск видеоинформации, передача в ограниченные сроки больших объемов информации (файлов данных). При этом большинство из них являются службами с комплексным предоставлением информации, которые в рекомендациях Сектора стандартизации электросвязи МСЭ определяются как мультимедиа.

Опыт создания сетей типа ISDN в ФРГ, Франции, Японии и США показывает, что возможны различные пути перехода к интегральным сетям в зависимости от степени развития инфраструктуры предшествующих сетей, экономического и научно-технического потенциала страны. Однако общими необходимыми условиями построения ISDN являются:

- форсированное создание цифрового ядра интегральной сети параллельно с существующими аналоговыми сетями и обеспечение его сопряжения с ними;

- стандартизация и унификация доступа к ядру сети на основе семиуровневой модели, предложенной Международной организацией по стандартизации. Для перехода от аналоговой сети к цифровой используется несколько различных стратегий, основными из которых являются *стратегия замещения* и *стратегия наложения*.

Стратегия замещения, известная также под названием эволюционной стратегии, или по-английски «Step by step», характеризуется использованием цифровых систем передачи и коммутации для наращивания емкости существующих систем и замены устаревшего оборудования. Быстрота и масштабы перехода к цифровой сети в разных вариантах различны. Эта стратегия предусматривает два варианта внедрения цифровой техники: цифровых зон и цифровых островов. В первом варианте аналоговые системы сохраняются неизменными до тех пор, пока они остаются в работоспособном состоянии. Для увеличения емкости и замены устаревших систем коммутации рядом с существующей создается цифровая система, которая в соответствии с потребностью ступенчато расширяется. В варианте «цифровых островов» все существующие на данной территории аналоговые системы коммутации и тракты передачи заменяются и переоборудуются в цифровые. Получившиеся острова цифровой сети постепенно сливаются, образуя, в конечном счете, единую цифровую сеть.

Стратегия наложения (англ. «Overlay strategy»), известная также под названием революционной стратегии, заключается в том, что наряду с уже существующей аналоговой сетью создается новая цифровая сеть, охватывающая ту же самую территорию (вместо образования «островов»). Новая цифровая сеть может оптимизироваться по своей структуре и числу узлов, а также расширяться в соответствии с ростом числа абонентов в сети, потребности в связи и выходом из работы (в том числе по неисправности) оборудования

аналоговой сети. В этой связи правомочна постановка задачи по переходу от аналоговой к цифровой сети в минимальном числе узлов, при этом число соединений, для которых такие переходы необходимы, должно быть минимальным. Вторая стратегия в мировой практике получила доминирующее значение.

Обобщая, можно утверждать, что ISDN это:

- способ высокопроизводительного взаимодействия компьютеров или сетей;
- исключительно цифровой метод коммуникаций, использующий существующую телефонную сеть;
- метод комбинирования передачи речи, видео, данных и другой информации в одной коммуникационной линии;
- способ, позволяющий телефонным компаниям на новом уровне использовать существующие инвестиции в цифровую технологию, чтобы получить дополнительные доходы от использования телефонных линий;
- высокопроизводительная альтернатива обычным (применяемым сегодня) модемам и телефонным линиям для передачи данных в коммуникационных сетях.

В ISDN местная абонентская линия передает только цифровые данные, хотя она может быть любого типа, который доступен в современной коммуникационной среде. Местная линия ISDN связывает с установленной у пользователя аппаратурой ISDN местную коммуникационную компанию (LE – *local exchange*) – эквивалент АТС в ISDN. Абонентская линия ISDN состоит из отдельных логических каналов, которые можно комбинировать для предоставления пользователю интерфейса с ISDN. Эти логические каналы разделяются на три базовых типа. При передаче в местной абонентской линии каждому каналу отводится свой квант времени. Для этого используется процесс мультиплексирования с разделением

(квантованием) по времени (TDM). Кроме того, каналам ISDN присваивается категория согласно их использованию (передача сигналов или передача данных) и стандартной скорости передачи данных для канала конкретного типа, как показано в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Типы каналов ISDN

№ п/п	Тип канала	Определение
1	D-канал	Канал D (от Device – устройство) используется для передачи сигналов между пользователем и сетью, а также для обмена пакетами
2	B-канал	Канал B (от Bearer – носитель) применяется для передачи данных в местной абонентской линии
3	Канал H	(Higher rate channel – канал с повышенной скоростью) используется для служб, которым необходима более высокая скорость передачи данных, чем обеспечивает один B-канал
4	B-ISDN	Каналы широкополосной ISDN (Broadband ISDN) позволяют поддерживать приложения, требующие более высокой скорости передачи данных по сравнению с H-каналом. Стандарты B-ISDN допускают обмен данными со скоростями до 622.08 Мбит/с

1.4. Проблемы, связанные с построением сетей ISDN

Большая полоса пропускания каналов, требующаяся для построения сетей ISDN, является основным препятствием при их построении. В первую очередь это касается России и других стран, в которых нет пока развитой инфраструктуры высокоскоростных первичных каналов связи. Существуют ли механизмы, позволяющие строить сети ISDN, более экономно используя полосу пропускания

каналов связи? Да, такие механизмы предлагаются сегодня некоторыми фирмами – производителями сетевого оборудования. Один из таких механизмов позволяет уплотнять каналы В, используемые для передачи голоса. Чтобы понять, как это происходит, обратимся к технике кодирования голоса при передаче его в цифровом виде. Полоса пропускания канала В (64 кбит/с) соответствует технике кодирования, получившей название ИКМ (импульсно-кодовая модуляция). К моменту создания стандартов сетей ISDN только такая техника кодирования обеспечивала хорошее качество голосовой связи по цифровым сетям. В настоящее время техника кодирования голоса шагнула далеко вперед. Сегодня можно обеспечить вполне приемлемое качество голосовой связи, занимая гораздо меньшую полосу пропускания. На рисунке 1.4 показано, как, используя мультиплексор, обеспечивающий компрессию голоса, можно «уместить» два полных BRI-канала на физическом канале, имеющем пропускную способность 64 кбит/с, т. е. меньше половины одного обычного BRI-канала.

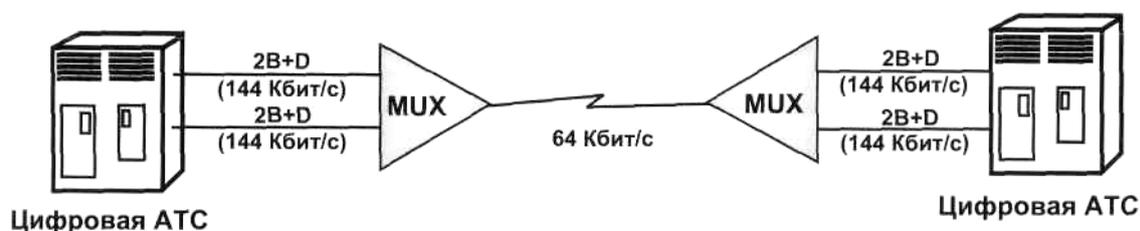


Рис. 1.4. Принцип мультиплексирования в ISDN

В рассматриваемом случае голосовая информация, передаваемая по каждому из В-каналов, сжимается и передается на скорости 6,33 кбит/с. При этом используется недавно появившийся алгоритм сжатия голоса MP-MLQ. Этот алгоритм замечателен тем, что качество сжатого голоса практически не ухудшается. Для передачи двух BRI-каналов требуется полоса пропускания, равная 63,32 кбит/с ($6,33 \times 4 + 19 \times 2$), и в случае соединения телефонных ISDN-станций

указанный алгоритм очень эффективен. На рисунке 1.5 показана магистральная сеть, образованная коммутаторами LSI010, к которым подключено оборудование доступа различных типов. Узлы IGX обеспечивают концентрацию и доступ к магистрали абонентского оборудования, поддерживающего FR, а также телефонных станций по каналам E1.

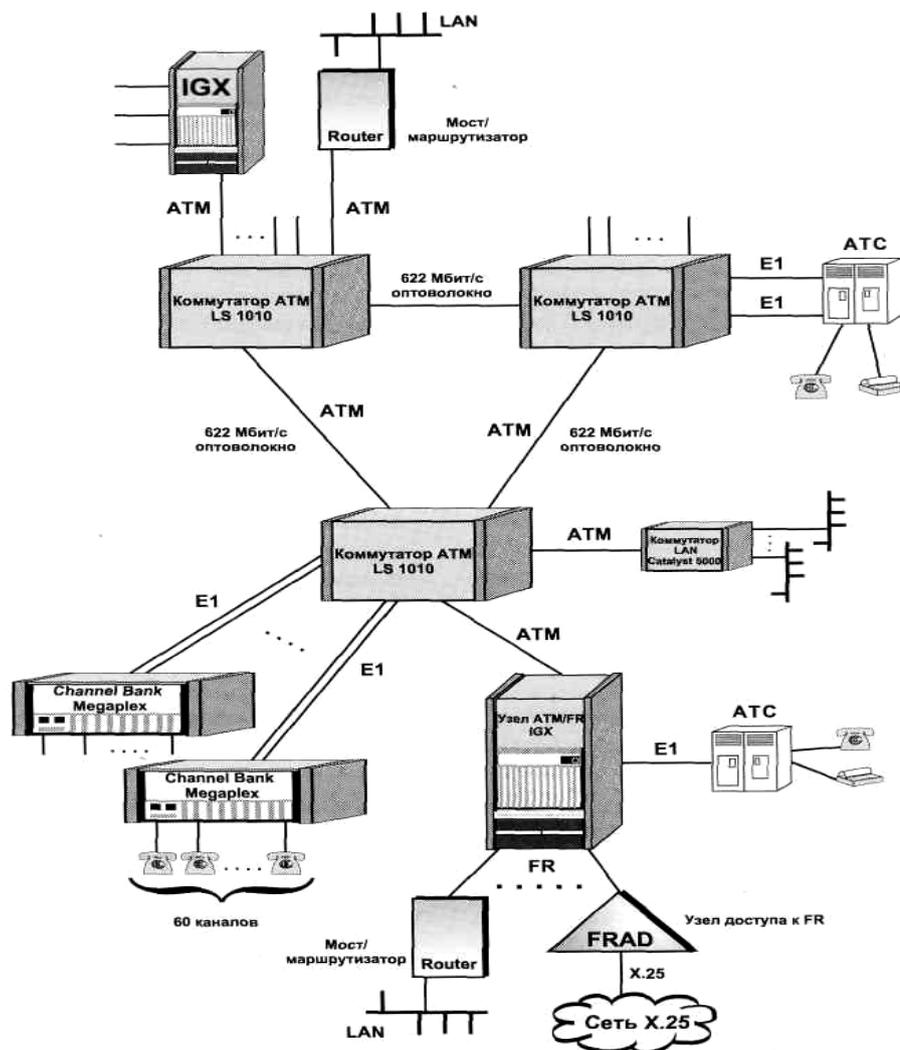


Рис. 1.5. Фрагмент магистральной сети

1.5. Транспортные сети. Основные понятия и определения

Рекомендация МСЭ определяет транспортирование как функциональный процесс переноса информации между территориально разнесенными пунктами, отличая термин «транспортирование» от

термина «передача», под которым понимается процесс распределения сигнала в физической среде передачи. При транспортировании информации должна выполняться не только функция переноса информации в пространстве, но и такие сетевые функции, как контроль, оперативное переключение, администрирование и др. Транспортная система (сеть) – это инфраструктура, объединяющая все сетевые средства, выполняющие функции переноса информации. Это прежде всего цифровые тракты связи и оборудование.

Транспортная сеть связи обычно объединяет магистральную и региональные сети. Транспортная система (сеть) должна быть базой для всех существующих и планируемых телекоммуникационных и информационных служб и обеспечивать работу при использовании линейного и коммутационного оборудования разных производителей, а также эксплуатацию ресурсов сети различными операторами. Различают транспортную сеть и абонентскую сеть доступа. Транспортная сеть обычно объединяет междугороднюю и внутризоновые (региональные) сети. Абонентская (местная, терминальная) сеть является сетью абонентского доступа. Широкополосной магистралью транспортной сети являются широкополосные ВОЛС при асинхронном методе передачи (АТМ) и синхронной цифровой иерархии (SDH). Транспортная сеть предназначена для передачи высокоскоростных широкополосных потоков информации без остановок и накопления. Используемый в транспортной сети асинхронный способ передачи – АТМ основан на адресном принципе передачи крупных потоков пакетной информации. Синхронная цифровая иерархия – SDH служит для организации временного разделения цифровых потоков информации.

Основными элементами транспортной СС являются:

- высокоскоростные ВОЛС (скорости передачи от 565...622 Мбит/с до 2,5...10 Гбит/с);

- мощные автоматические междугородные телефонные станции (АМТС) с емкостью до сотен тысяч каналов и кроссконекторы, обеспечивающие постоянную и полупостоянную коммутацию цифровых каналов и трактов.

В идеале глобальная вычислительная сеть должна передавать данные абонентов любых типов, которые есть на предприятии и нуждаются в удаленном обмене информацией. Для этого глобальная сеть должна предоставлять комплекс услуг. Основные типы потенциальных потребителей услуг глобальной компьютерной сети изображены на рисунке 1.6.

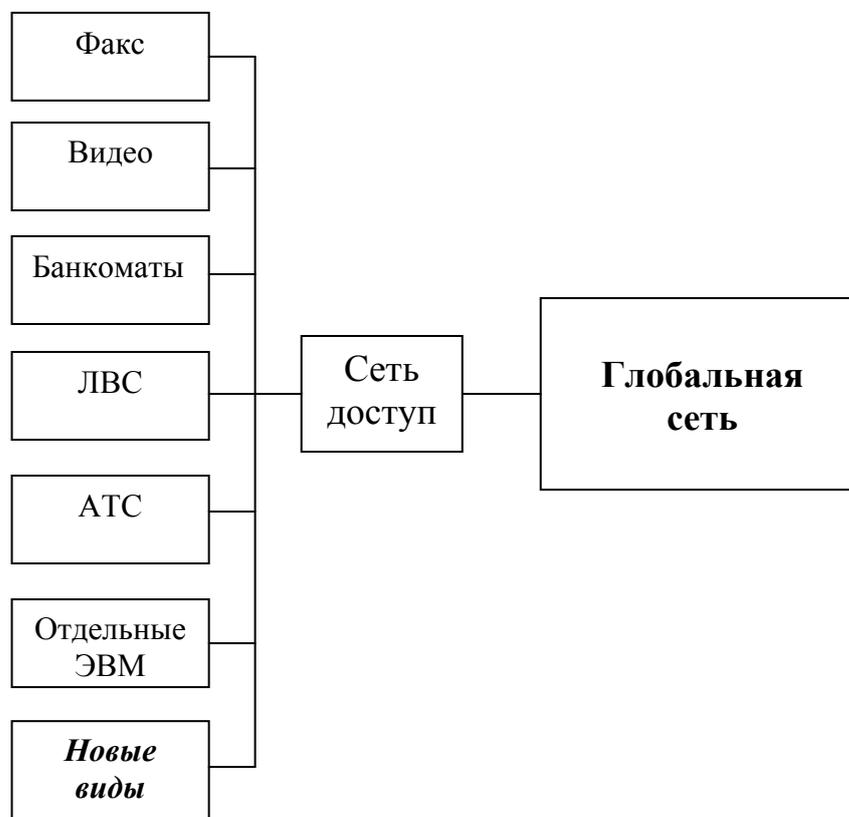


Рис. 1.6. Услуги, предоставляемые глобальной сетью

После того как цифровые сигналы начали становиться основными, в технике связи возникла идея создания единой цифровой сети для передачи всех видов информации. Данная идея является

центральной для развития современных корпоративных телекоммуникационных сетей по следующим причинам. С помощью такой сети должны быть достигнуты две цели.

Первая цель состоит в интеграции техники, которая заключается в передаче всех видов информации единым методом и интеграции техники коммутации и передачи.

Вторая цель создания единой цифровой сети состоит в гибком введении новых служб, обеспечивающих пользователям широкий диапазон услуг и более высокое их качество, а также в их интеграции. Последовательное достижение этих двух целей становится возможным при создании широкополосных ISDN (B-ISDN) на технологии АТМ, которая более подробно будет рассмотрена ниже.

Услуги связи предоставляются пользователю с помощью определенных служб. Под службами принято понимать все без исключения службы связи, которые могут быть представлены пользователям администраторами связи через сети общего пользования и частные (ведомственные) или, другими словами, корпоративные сети. Согласно рекомендациям МСЭ 1.211, в зависимости от способов связи между терминальным оборудованием и в соответствии с возможными приложениями, все службы делятся на интерактивные и распределительные, каждая из которых, в свою очередь, включает несколько классов служб, как показано в таблице 1.2.

Интерактивные службы охватывают следующие классы служб: диалоговые службы, службы обмена сообщениями (службы с накоплением) и службы информационного поиска (службы по запросу).

Службы распределения информация (дистрибутивные службы) могут быть как без индивидуального управления информацией со стороны пользователя, так и с индивидуальным управлением.

Классификация служб

Службы	
Интерактивные	Распределительные
Диалоговые Обмена сообщениями (с накоплением) Информационного поиска (по запросу)	Без индивидуального управления со стороны пользователя С индивидуальным управлением со стороны пользователя

Диалоговые службы, как правило, предоставляют услуги для передачи информации практически в реальном масштабе времени между пользователями или пользователем и ЭВМ. При этом поток информации может направляться в обе стороны, быть симметричным или несимметричным. В качестве примеров диалоговых служб можно назвать телефонную службу, службу речевой и видеоконференцсвязи, службу передачи данных.

Службы обмена сообщениями (с накоплением) предназначены для не прямой связи между пользователями с помощью промежуточного хранения сообщений. Промежуточное хранение может производиться в центральных устройствах, которые автоматически направляют в сторону приемника сообщения в соответствии с заданными пользователем условиями (например, во время действия благоприятных тарифов). Сообщения также могут храниться в электронных почтовых ящиках или в системах «обработки сообщений» с использованием функций редактирования, обработки и переработки.

1.6. Высокoурoвневые услуги глобальных сетей

Из рассмотренного списка услуг, которые глобальная сеть предоставляет конечным пользователям, видно, что в основном она используется как транзитный транспортный механизм, предоставляющий только услуги трех нижних уровней модели OSI.

Действительно, при построении корпоративной сети сами данные хранятся и вырабатываются в компьютерах, принадлежащих локальным сетям этого предприятия, а глобальная сеть их только переносит из одной локальной сети в другую. Поэтому в локальной сети реализуются все семь уровней модели OSI, включая прикладной, которые предоставляют доступ к данным, преобразуют их форму, организуют защиту информации от несанкционированного доступа.

Однако в последнее время функции глобальной сети, относящиеся к верхним уровням стека протоколов, стали играть заметную роль в вычислительных сетях. Это связано в первую очередь с популярностью информации, предоставляемой публично сетью Internet. Список высокоуровневых услуг, который предоставляет Internet, достаточно широк. Кроме доступа к гипертекстовой информации Web-узлов с большим количеством перекрестных ссылок, которые делают источником данных не отдельные компьютеры, а действительно всю глобальную сеть, здесь нужно отметить и широковещательное распространение звукозаписей, составляющее конкуренцию радиовещанию, организацию интерактивных «бесед» – chat, организацию конференций по интересам (служба News), поиск информации и ее доставку по индивидуальным заказам и многое другое.

Информационные услуги Internet оказали влияние на традиционные способы доступа к разделяемым ресурсам, на протяжении многих лет применявшиеся в локальных сетях. Все больше корпоративной информации «для служебного пользования» распространяется среди сотрудников предприятия с помощью Web-службы, заменив многочисленные индивидуальные программные надстройки над базами данных, в больших количествах разрабатываемые на предприятиях. Появился специальный термин – intranet, который применяется в тех случаях, когда технологии Internet

переносятся в корпоративную сеть. К технологиям «intranet» относят не только службу Web, но и использование Internet как глобальной транспортной сети, соединяющей локальные сети предприятия, а также все информационные технологии верхних уровней, появившиеся первоначально в Internet и поставленные на службу корпоративной сети.

В результате глобальные и локальные сети постепенно сближаются технологически за счет взаимопроникновения технологий разных уровней – от транспортных до прикладных. Данный процесс получил название конвергенции, т. е. проникновения технологий одних типов сетей в технологии иных типов сетей.

1.7. Типы коммутации глобальных сетей

Наиболее важными элементами транспортной системы являются коммутаторы и маршрутизаторы. Существуют два метода организации сквозной коммутации через сеть: с соединением и без соединения.

В первом случае между передающей стороной и приемной стороной устанавливается определенный маршрут передачи информации. Классическим примером сетей первого типа является телефонная сеть.

Во втором случае информация упаковывается в объекты, называемые дейтаграммами, которые могут прокладывать свой путь к приемнику через сеть без установки соединения.

Различие между двумя этими типами коммутаций весьма условно. Можно реализовать связь, ориентированную на соединения, и в системе без соединений. Традиционные сети связи были ориентированы на соединения, тогда как сети ЭВМ работали без соединений. Ввиду того, что межкомпьютерные связи организуются по телекоммуникационным сетям, классический межкомпьютерный

IP-протокол часто выполняется на однонаправленном канале, использующем соединения. Это означает, что протоколы TCP/IP, работая на прикладном уровне, используют режим с соединениями. Переходя на сетевой уровень, они переключаются в режим без соединений, а на канальном уровне вновь переключаются в режим с соединениями. Это обусловлено тем, что на разных уровнях системы протоколов каждый подход имеет свои преимущества.

Существует и другая классификация коммутационных схем. Их разделяют на системы с коммутацией каналов и с коммутацией пакетов. Например, сети ISDN относятся к сетям, в которых основным режимом коммутации является режим коммутации каналов. Система с коммутацией каналов эквивалентна системе с соединениями, в которой передатчик соединен с приемником через физический канала.

Системы пакетной коммутации посылают данные в виде пакетов. Если пакеты обрабатываются и направляются сетью их адресатам индивидуально, то они называются дейтаграммами, а сама система работает в режиме без соединений, однако пакеты могут быть и не индивидуальными, а формирующими лишь часть некоторой достаточно длинной последовательности.

В этом случае из пакетов формируется так называемый виртуальный канал. Отношение между различными типами коммутационных систем представлено в таблице 1.3.

Таблица 1.3

Типы коммутационных сетевых систем

С соединениями		Без соединений	
С коммутацией каналов	С коммутацией пакетов		
	С коммутацией ячеек	С коммутацией сообщений	
	Виртуальные каналы	С коммутацией дейтаграмм	

1.8. Технологии и протоколы территориальных сетей связи

Целесообразно рассматривать различные протоколы и сетевые технологии с X.25 и связанного с ним стека протоколов, а также сетей, базирующихся на данной технологии. На сегодняшний день, несмотря на появление новых интегральных технологий сетей связи, рассчитанных на высокоскоростные каналы связи, сети X.25 все еще являются достаточно распространенными сетями передачи данных. Сети X.25 получили свое название по имени рекомендации – «X.25», выпущенной МСЭ. Данная рекомендация описывает интерфейс доступа пользователя в сеть передачи данных, а также интерфейс взаимодействия с удаленным пользователем через сеть передачи данных.

Рекомендация X.25 включает процедуры (протоколы) трех уровней – физического, канального и сетевого, которые реализуют функции физического, канального, сетевого и частично транспортного уровней семиуровневой модели взаимодействия открытых систем OSI, как показано на рисунке 7.

Физический уровень описывает уровни сигналов и логику взаимодействия на уровне физического интерфейса. Второй уровень отвечает за эффективную и надежную передачу данных в соединении «точка-точка», т. е. между соседними узлами сети X.25. Данный уровень обеспечивает защиту от ошибок при передаче между соседними узлами и управление потоком данных. Кроме того, меняя значения параметров, содержащихся в этом протоколе, можно получать оптимальный по скорости передачи режим в зависимости от протяженности канала между двумя точками (времени задержки в канале) и качества канала (вероятности искажения информации при передаче). Для реализации всех указанных выше функций на втором уровне поток информации разбивается на «кадры» («frame»).

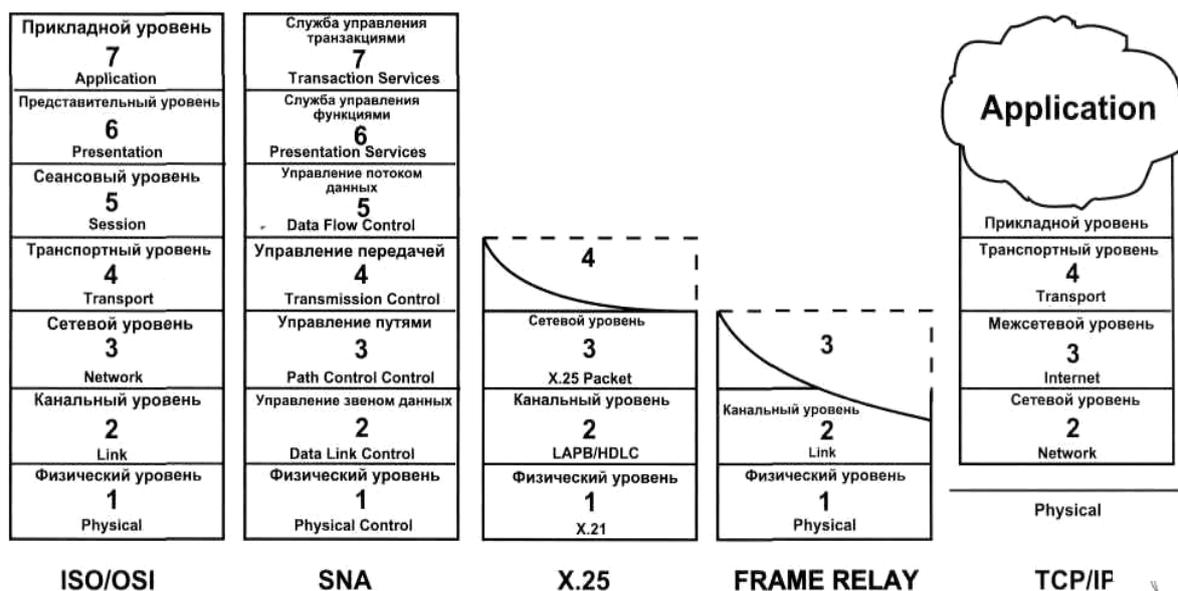


Рис. 1.7. Технологии глобальных сетей и модель OSI

Третий уровень – сетевой. Этот уровень наиболее интересен в контексте обсуждения сетей X.25, так как именно он определяет в первую очередь специфику этих сетей. Функционально данный уровень отвечает за маршрутизацию в сети передачи данных X.25 и доведение информации от «точки входа» в сеть до «точки выхода» из нее. На третьем уровне информация также структурируется, т. е. разбивается на «порции», называемые «пакетами» («packet»). Структура пакета во многом аналогична структуре кадра. В пакете имеется свой модуль нумерации, поля адреса, типа пакета, контрольная последовательность. При передаче пакет помещается в поле данных информационных кадров (кадров второго уровня). Функционально поля пакета отличаются от соответствующих полей кадра. В первую очередь это касается поля адреса. Это поле должно обеспечивать идентификацию абонентов в рамках всех сетей пакетной коммутации по всему миру. Рекомендация X.121 определяет структуру сетевого адреса.

Сети по технологии X.25 называют сетями пакетной коммутации. Этот метод реализуется установлением между абонентами виртуальных, т. е. логических (в отличие от физических), соединений («virtual circuits»). Для того чтобы передать информацию от абонента А к абоненту В, между ними сначала устанавливается виртуальное соединение, т. е. происходит обмен пакетами «запрос вызова» («call request») – «вызов принят» («call accept»). После этого между двумя абонентами может производиться обмен информацией. Виртуальные соединения могут быть как постоянными (permanent), так и коммутируемыми (switched). Коммутируемое соединение устанавливается под каждый сеанс обмена информацией, что не требуется для постоянного виртуального соединения. Сети X.25 позволяют в режиме реального времени разделять один и тот же физический канал между несколькими абонентами. Благодаря реализованному в сетях X.25 механизму разделения канала во многих случаях оказывается экономически выгодней для передачи данных пользоваться сетью X.25, производя оплату за каждый байт переданной или полученной информации, а не оплачивать время использования телефонной линии. Особенно ощутимо это преимущество для международных соединений.

Метод разделения физического канала между абонентами в сетях X.25 называют еще логическим, или статистическим, уплотнением. Эффективность использования статистического уплотнения зависит от статистических либо вероятностных характеристик уплотняемых потоков информации. Среди эффективных приложений X.25 можно назвать и обмен сообщениями между пользователями, и обращение большого числа пользователей к удаленной базе данных, а также к удаленному хосту электронной почты, связь локальных сетей (при скоростях обмена не более 128 кбит/с), объединение удаленных кассовых аппаратов и банкоматов. Другими словами, все приложения, в которых трафик в сети неравномерный во времени.

Среди важных достоинств сетей X.25 можно также отметить то, что они позволяют передавать оптимальным образом данные по каналам телефонной сети общего пользования (выделенным и коммутируемым). Под оптимальностью понимается достижение максимально возможных на указанных каналах скорости и достоверности передачи данных.

Эффективным механизмом оптимизации процесса передачи информации через сети X.25 является механизм альтернативной маршрутизации. Возможность задания помимо основного маршрута альтернативных, т. е. резервных, имеется в оборудовании X.25, производимом практически всеми фирмами. За счет альтернативной маршрутизации может быть значительно увеличена надежность работы сети. При всех достоинствах сетевой технологии X.25, у нее есть и свои ограничения. Одним из них является невозможность передавать по сетям X.25 такие виды информации, как голос и видеоинформацию.

Другим недостатком X.25 является существенное ограничение скорости передачи. Основной причиной относительно низкой скорости является наличие в X.25 развитых механизмов коррекции ошибок, которые требуют подтверждения информации между каждыми соседними узлами сети, что приводит к значительным задержкам распространения информации. Кроме того, реализация механизмов коррекции ошибок и управления, используемых в сетях X.25, требуют оборудования с высокой производительностью, которое может просто «не успевать» за высокоскоростными каналами связи. Поэтому обычно X.25 применяется в сетях, использующих каналы связи со скоростью передачи не более 128 Кбит/с. Указанные ограничения преодолеваются в технологии Frame Relay, которая в свое время зародилась и нашла преимущественно широкое применение в США.

1.9. Технология FRAME RELAY

Несмотря на то, что технология FR во многом схожа с X.25, в ней реализованы механизмы, дающие пользователю принципиально новые возможности по передаче самого разнородного трафика. Каждое из подключаемых конечных устройств характеризуется трафиком, имеющим только ему присущие вероятностно-временные характеристики. Большое искусство требуется для того, чтобы передать по одному и тому же физическому каналу данные от различных типов конечного оборудования данных, а также голосовую и видеоинформацию без потери ее качества, при этом максимально выгодно, используя полосу пропускания канала.

FR – описывает интерфейс доступа к сетям быстрой коммутации пакетов. Эта технология позволяет эффективно передавать крайне неравномерно распределенный во времени трафик.

FR отличается малым временем задержки при передаче информации через сеть, высокими скоростями передачи, «высокой степенью связности», эффективным использованием полосы пропускания.

В отличие от сетей X.25 по сетям FR возможна передача не только собственно данных, но и оцифрованного голоса.

Следует подчеркнуть, что суть сетей FR не в многомегабитной «физической» скорости передачи данных (т. е. скорости физических каналов), а в методах статистического уплотнения информации, обеспечивающих существенное повышение информационной скорости передачи в условиях дефицита физической пропускной способности канала, а также в наличии интерфейсов, позволяющих эффективно подключать к сети различные типы конечных пользовательских устройств.

Технология FR использует для передачи данных технику виртуальных соединений, аналогичную той, которая применялась в сетях X.25, однако стек протоколов FR передает кадры (при установленном виртуальном соединении) по протоколам только

физического и канального уровней, в то время как в сетях X.25 и после установления соединения пользовательские данные передаются протоколом 3-го уровня (см. рисунок 1.5).

Кроме того, протокол канального уровня LAP-F в сетях FR имеет два режима работы – основной (core) и управляющий (control). В основном режиме, который фактически практикуется в сегодняшних сетях FR, кадры передаются без преобразования и контроля (см. рисунок 1.8), как и в коммутаторах локальных сетей. За счет этого сети FR обладают весьма высокой производительностью, так как кадры в коммутаторах не подвергаются преобразованию, а сеть не передает квитанции подтверждения между коммутаторами на каждый пользовательский кадр, как это происходит в сети X.25. Пульсации трафика передаются сетью FR достаточно быстро и без больших задержек.

При таком подходе уменьшаются накладные расходы при передаче пакетов локальных сетей, так как они вкладываются сразу в кадры канального уровня, а не в пакеты сетевого уровня, как это происходит в сетях X.25.

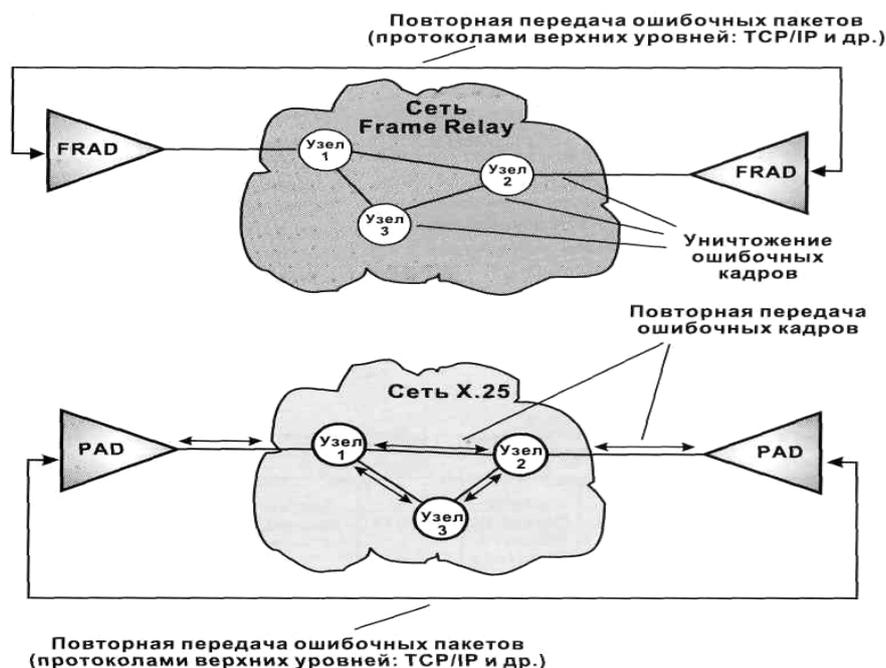


Рис. 1.8. Принципы передачи кадров в технологиях FR и X.25

В сетях X.25 (рассматриваются сети, в которых междуузловой обмен происходит в соответствии с рекомендацией «X.25») гарантированная передача данных обеспечивается на уровне управления звеном передачи данных. Это означает, что все переданные между двумя узлами сети кадры получены в той же последовательности, в которой были отправлены. В случае искажения при передаче какого-либо кадра происходит его повторная передача. Кроме того, на сетевом уровне, определяемом рекомендацией X.25, обеспечивается гарантированная передача пакетов, содержащихся в поле данных кадров уровня звена, что гарантирует целостность потока данных в сети X.25 даже при выходе из строя некоторых каналов передачи данных.

Для обеспечения рассмотренной функции в служебных полях кадров и пакетов передачи данных присутствуют специальные переменные, содержащие номера передаваемого кадра (пакета) и номер последнего успешно принятого кадра/пакета.

Кадр FR не содержит переменных нумерации передаваемых и подтверждаемых кадров. В сетях FR (мы рассматриваем сети, в которых и между магистральными узлами передача происходит по FR) при междуузловом обмене информацией ошибочные кадры просто «выбрасываются», их повторная передача средствами самого FR не происходит. Чтобы обеспечить гарантированную и упорядоченную передачу информации, надо использовать либо протоколы более высоких уровней (например, TCP/IP), либо «приложение» к базовому (core) протоколу,

Сети FR могут выступать альтернативой сетям X.25 и ЛВС могут подключаться к сети непосредственно по интерфейсу FR, как показано на рисунке 1.9. В этом случае сеть FR выполняет те же функции по обеспечению удаленного взаимодействия удаленных ЛВС, которые в других случаях выполняет сеть X.25. Технология FR,

благодаря особому подходу, гарантированно обеспечивает основные параметры качества транспортного обслуживания, необходимые при объединении локальных сетей.

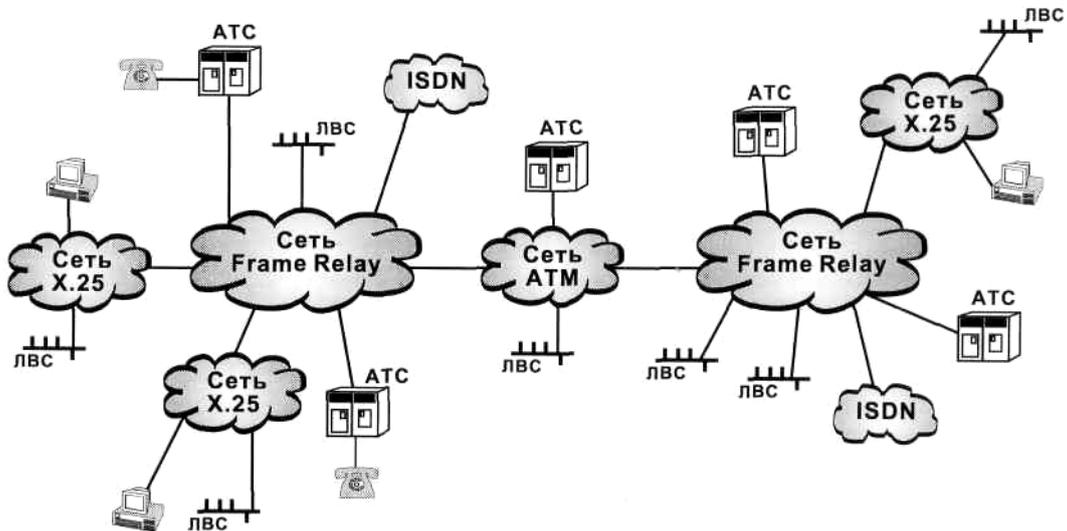
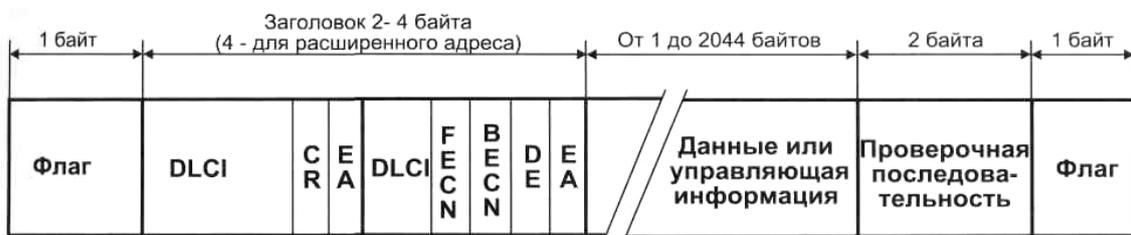


Рис. 1.9. Принцип подключения ЛВС к сети FR

Структура кадра FR и структура протокола канального уровня представлены соответственно на рисунках 1.10 и 1.11.



CR – признак «команда/ответ» («command/response»)

EA – индикация того, что следующий байт – байт адреса

Рис. 1.10. Структура кадра FR



Рис. 1.11. Структура кадра LAP-B

Из рисунков 10 и 11 видно, как уменьшается число служебных байтов при переходе от X.25/LAP-B к FR.

Важно отметить, что вместо назначения конкретных приоритетов трафика используется процедура заказа качества обслуживания при установлении соединения, отсутствующая в сетях X.25 и проби- вающая себе дорогу в сетях TCP/IP в форме экспериментального протокола RSVP, который пока не поддерживается поставщиками услуг Internet. В технологии FR заказ и поддержание качества обслуживания встроен в технологию.

В других случаях сеть FR может выступать в качестве высокоскоростной магистрали для объединения ряда сетей X.25. Такое решение является весьма типичным, оно легко осуществимо, потому что подавляющее большинство современных устройств сетей X.25 оборудовано портами FR.

Услуги FR обычно предоставляются теми же операторами, которые эксплуатируют сети X.25. Большая часть производителей выпускает сейчас коммутаторы, которые могут работать как по протоколам X.25, так и по протоколам FR. Технология FR занимает в территориальных сетях с коммутацией пакетов ту же нишу, которую заняла в локальных сетях технология Ethernet. Их роднит то, что они предоставляют только быстрые базовые транспортные услуги, доставляя кадры в узел назначения без гарантий, дейтаграммным способом. Однако если кадры теряются, то сеть FR, как и сеть Ethernet, не предпринимает никаких усилий для их восстановления. Отсюда следует простой вывод – полезная пропускная способность прикладных протоколов при работе через сети FR будет зависеть от

качества каналов и методов восстановления пакетов на уровнях стека, расположенного над протоколом FR. Если каналы качественные, то кадры будут теряться и искажаться редко, так что скорость восстановления пакетов протоколом TCP или NCP будет вполне приемлема. Если же кадры искажаются и теряются часто, то полезная пропускная способность в сети FR может упасть в десятки раз, как это происходит в сетях Ethernet при плохом состоянии кабельной системы. Сравнительные данные рассматриваемых технологий приведены в таблице 1.4.

Таблица 1.4

Сравнительные характеристики сетевых механизмов FR и X.25

Сетевой механизм	Наличие механизма в сети	
	X.25	Frame Relay
Квитирование получения информационных кадров	+	-
Трансляция адресов	+	+
Квитирование получения пакетов данных	+	-
Хранение пакетов, ожидающих подтверждения	+	-
Отбрасывание принятых с ошибкой кадров	+	+
Установление/разрыв логического соединения уровня звена и сетевого уровня	+	-
Межкадровое заполнение	+	+
Управление потоком на уровне звена	+	-
Управление потоком на сетевом уровне	+	-
Генерация/проверка последовательности проверки кадра	+	+
Генерация кадров «Не готов к приему» и «Отказ от приема»	+	-
Работа с таймерами уровня звена и сетевого уровня (определяющими, следует ли повторно передавать кадр, на который не получено подтверждения)	+	-

Сетевой механизм	Наличие механизма в сети	
	X.25	Frame Relay
Работа с битом «запрос передачи/окончание передачи»	+	-
Упорядочивание потока кадров и пакетов	+	-
Распознавание неверных кадров	+	+
Битстаффинг, генерация и распознавание флагов	+	+

Поэтому сети FR следует применять только при наличии на магистральных каналах волоконно-оптических кабелей высокого качества. Каналы доступа могут быть и на витой паре, как это разрешает интерфейс G.703 или абонентское окончание ISDN. Используемая на каналах доступа аппаратура передачи данных должна обеспечить приемлемый уровень искажения данных – не ниже 10^{-6} . На величины задержек сеть FR гарантий не дает, и это основная причина, которая сдерживает применение этих сетей для передачи голоса. Передача видеоизображения тормозится и другим отличием сетей FR от ATM – низкой скоростью доступа в 2 Мбит/с, что для передачи видео часто недостаточно. Сети FR заимствуют многое из стека протоколов ISDN, особенно в процедурах установления коммутируемого виртуального канала.

1.10. Контрольные вопросы

1. Какова причина волнового развития технологических процессов?
2. На чем основано эволюционное развитие мобильных систем?
3. Каким образом законодательство РФ определяет понятие «корпоративные сети связи»?
4. Каковы требования по достоверности, предъявляемые к современным сетевым технологиям?
5. Что такое сеть доступа и каковы предъявляемые к ней требования?
6. Назначение, основные понятия и определения транспортной сети.
7. Каково соотношение технологии глобальных сетей и модели OSI?
8. Особенности технологии X.25.
9. Каким образом в технологии X.25 обеспечивается высокая достоверность цифровых данных?
10. Особенности технологии Frame Relay.
11. Дайте определение понятия виртуального соединения.
12. Какова максимально допустимая задержка по времени при передаче речевых сообщений?
13. Поясните суть технологии LTE.
14. Какова основная задача создания корпоративных сетей?
15. Каково преимущество оптоволоконных каналов связи в транспортной сети перед проводными каналами связи?
16. Как понимать термин «мультимедиа»?
17. Что такое мультимедийный трафик в сетевой технологии?

Раздел 2. КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СЕТЕВОЙ ТЕХНОЛОГИИ АТМ

2.1. Построение высокоскоростных сетей с технологией АТМ

Для понимания идеологии NGN целесообразно выявить особенности сетевой технологии АТМ, которая до недавнего времени являлась наиболее перспективной технологией построения высокоскоростных сетей связи. В рамках данной технологии в полной мере реализованы возможности максимально эффективного использования полосы пропускания каналов связи при передаче информации различной природы. Это делает АТМ особенно привлекательной для тех сетей связи, которые изначально ориентированы на эффективную передачу видеоинформации, голоса, а также данных от различных асинхронных терминалов, узлов сетей передачи данных, локальных сетей и т. д. К таким сетям сегодня относятся практически все ведомственные сети.

Используемые в сетях АТМ единицы информации имеют фиксированную длину (54 байта) и называются «ячейками» («cell»). Малая фиксированная длина ячеек обеспечивает малое время задержки информации при передаче ее через сеть АТМ. В разделе, посвященном технологии FR, говорилось о том, что механизмы этой технологии во многом аналогичны механизмам технологии АТМ. Существуют, однако, большие различия в количественных показателях указанных технологий. Стандарты, определяющие возможность технологии АТМ передавать различные виды трафика, проработаны с большой степенью детализации. Если при работе с оборудованием FR системный интегратор или оператор сети должен сам «конструировать» набор параметров, определяющих режим передачи каждого конкретного вида информации, то в случае сетей АТМ можно выбирать уже имеющиеся классы обслуживания. Понятие классов обслуживания является центральным для технологии АТМ.

АТМ-сети в Российской Федерации были актуальны для создания сетей на вновь прокладываемых оптоволоконных каналах. Для оптимизации и минимизации затрат на создание АТМ-сети наиболее продуктивным являлся поэтапный подход к построению сети. В соответствии с ним первоначально создавалось небольшое число магистральных АТМ-каналов, которое затем наращивалось до появления новых технических решений. Эффективность АТМ-технологии заключается, в частности, в наличии большого числа интерфейсов между собственно оборудованием АТМ и оборудованием, работающим по другим стандартам. Множество таких интерфейсов постоянно пополнялось и решало актуальные на тот период вопросы разработки интерфейсов сопряжения с телефонными системами. Эти механизмы являлись для технологии АТМ самым «больным» вопросом. Дело в том, что в большинстве аппаратных реализаций цифровой интерфейс подключения АТС к сети АТМ (например, интерфейс Е1) использует специальную службу для передачи информации через сеть. Эта служба по своей сути имела очень мало общего с идеологией АТМ. Она больше напоминала более традиционные сети со статистическим распределением полосы пропускания. Для реализации этой службы в магистральном канале просто резервировалась полоса определенной пропускной способности. Эта полоса не может быть отдана другим пользователям сети независимо от того, передается в данный момент времени по ней какая-либо информация или нет. Мы видим, что в этом случае имеет место сохранение традиционных принципов временного разделения канала. Пользователи уже в то время начинали понимать заключающееся в данной ситуации противоречие. Но, как часто происходит в реальной жизни, АТМ-форум не вполне был готов к возросшим требованиям пользователей. Однако кроме АТМ-форума есть еще производители оборудования, являющиеся членами форума. Производимое ими оборудование уже достаточно долго эксплуатируется в сетях для передачи как данных, так и голоса.

Следует отметить, что в оборудовании ряда фирм голосовые интерфейсы (в частности, E1) реализованы с соблюдением идеологии АТМ, т. е. с динамическим распределением полосы пропускания, отведенной под данный интерфейс. В оборудовании этих фирм передача голосового трафика, подключаемого по интерфейсу E1, позволяет динамически перераспределять полосу пропускания, одновременно обеспечивая необходимое качество передачи голосовой информации.

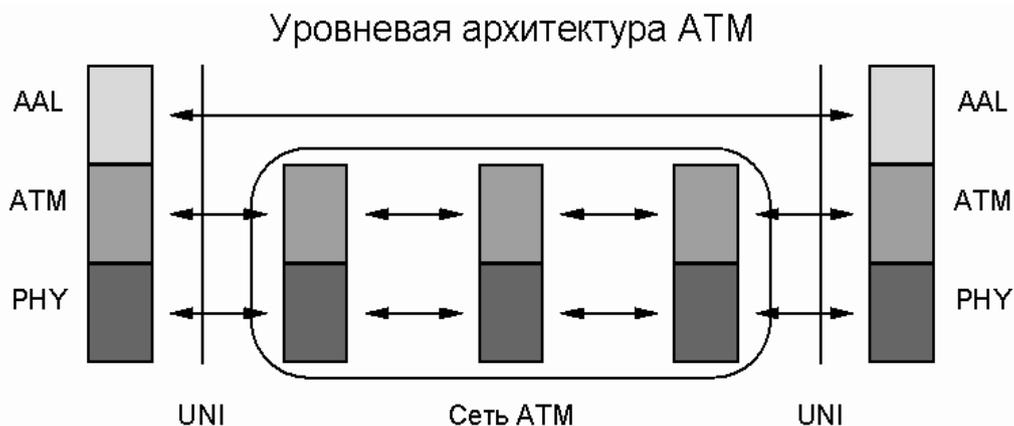
Различные фирмы, производивших оборудование АТМ, в первую очередь ориентировались на те или иные подмножества интерфейсов и механизмов. Для создания эффективной системы связи необходимо уже на этапе организации АТМ-магистральной рассматривать всю задачу в комплексе, ориентируясь на основные предполагаемые типы механизмов доступа конечных абонентов к магистральной.

Считается, что при разработке АТМ-систем имел смысл ориентироваться на решения, которые вместе с возможностью высокоскоростного подключения ЛВС и магистралей цифровых АТС давали бы возможность максимально эффективного сбора и уплотнения информационных потоков от абонентов, осуществляющих подключение по каналам с низкой пропускной способностью. Такой технологией несомненно является FR.

То, что FR – основной способ стыковки низкоскоростных сетевых технологий и АТМ, сегодня общепризнано. FR позволяет передавать и маршрутизировать как данные, так и голос на каналах пропускной способности, начиная с 7,2 кбит/с. Благодаря этому часть информации может маршрутизироваться в узлах доступа к сети АТМ (в узлах FR), что дополнительно разгружает АТМ-магистраль. Кроме того, FR дает возможность статистической адаптации к информационным потокам различной природы, что позволяет эффективно использовать каналы доступа к АТМ-магистральной, сравнимые по возможностям с собственно АТМ.

Иногда возникает путаница в использовании понятий АТМ и В-ISDN. Эти понятия родственны, поскольку АТМ появился в результате усилий по стандартизации В-ISDN. По сути, АТМ является технологией, на которой основывается В-ISDN. Обычно термин «В-ISDN» используют применительно к глобальным транспортным службам, но не применяется по отношению к локальным сетям и университетским (campus) сетям, даже если в качестве базовой технологии используется АТМ. Естественно, преимущества АТМ сохраняются также и в сетях данного масштаба. АТМ является базовой технологией для В-ISDN. Главным недостатком технологии АТМ явилось сложность программного обеспечения, что не позволило этой технологии удержаться на рынке, но дало определенный опыт в управлении сетевыми ресурсами и услугами. Созданные сети АТМ успешно интегрируются в технологию NGN и поэтому требуют своего подробного изучения.

АТМ основывается на многоуровневой архитектуре. Уровни АТМ представлены на рисунке 2.1.



PHY (Physical Layer) - физический слой
 UNI (User Network Interface) - интерфейс пользователь сеть
 AAL (ATM Adaptation Layer) - слой адаптации АТМ
 Различные протоколы ААL обслуживают разные типы трафика (речь, видео, данные)

Рис. 2.1. Уровни АТМ

Нижним уровнем является физический (Physical Layer – PHY). Над физическим уровнем располагается уровень АТМ. На данном уровне присутствуют ячейки. Над уровнем АТМ располагается уровень адаптации АТМ (ATM Adaptation Layer – AAL). Данный уровень реализуется в конечных системах и является прозрачным для сети АТМ. Под прозрачностью понимается то, что служебная информация уровня ААL располагается внутри 48 байт нагрузки ячейки, и сеть не анализирует эту информацию. Поскольку сеть АТМ должна осуществлять доставку информации различного типа, предусмотрено несколько различных уровней ААL.

2.2. Частный интерфейс пользователь-сеть (Private UNI)

Ячейки АТМ транспортируются через физический уровень. С тех пор как начали развиваться стандарты АТМ, появилось несколько спецификаций физических уровней, которые хорошо применимы внутри здания и практически не применимы для доступа к сети общего пользования. В таблице 2.1 приведены физические уровни, применяемые в качестве private UNI.

Таблица 2.1

Интерфейсы физического слоя АТМ

Интерфейсы Private UNI физического слоя АТМ		
Формат кадра	Скорость / Линейная скорость	Среда передачи
Поток ячеек	25.6 Мбит/с / 32 Мбод	UTP3
STS-1	51.84 Мбит/с	UTP3
FDDI	100 Мбит/с / 125 Мбод	MMF
STM-1, STS-3c	155.52 Мбит/с	UTP5, STP
STM-1, STS-3c	155.52 Мбит/с	SMF, MMF, CP
Поток ячеек	155.52 Мбит/с / 194.4 Мбод	MMF, STP
STM-1, STS-3c	155.52 Мбит/с	UTP3
STM-4, STS-12	622.08 Мбит/с	SMF, MMF

UTP3 – неэкранированный симметричный кабель категории 3;

UTP5 – неэкранированный симметричный кабель категории 5;

STP – неэкранированный симметричный кабель;

MMF – многомодовое оптоволокно; SMF – одномодовое оптоволокно.

Их достаточно много, что демонстрирует одну из сильных сторон АТМ: отсутствие жесткой ориентации на единственный физический уровень. Спектр возможных уровней достаточно широк: от интерфейса со скоростью 25 Мбит/с на основе неэкранированного симметричного кабеля категории 3 до интерфейса со скоростью 622 Мбит/с на основе оптического волокна. Физический уровень STM-1 может применяться в обоих типах интерфейсов.

2.3. Интерфейс пользователь-сеть (Public UNI)

В данном интерфейсе применяются форматы передачи, типичные для телефонных сетей, такие как T1 и T3 в Северной Америке, E1 и E3 в Европе, J1 в Японии, при этом предполагается подключение к магистральной сети. Обычно магистральные сети уже имеют оборудование указанного типа. Поэтому экономически целесообразно использовать традиционно применяемые в магистральных сетях интерфейсы. Наряду с физическими уровнями, соответствующими плезиохронной цифровой иерархии, специфицированы физические уровни синхронной цифровой иерархии, а также дробные потоки T3/E3. В таблице 2.5 этот факт отмечен звездочкой.

Таблица 2.2

Интерфейсы физического слоя АТМ

Интерфейсы Public UNI физического слоя АТМ		
Формат кадра	Скорость / Линейная скорость	Среда передачи
DS-1	1.544 Мбит/с	TP
DS-3	44.736 Мбит/с	CP
STM-1, STS-3c	155.52 Мбит/с	SMF
E1	2.048 Мбит/с	TP, CP
E3	34.368 Мбит/с	CP
J2	6.312 Мбит/с	CP
nх T1*	nх 1.544 Мбит/с	TP
nх E1*	nх 2.048 Мбит/с	TP

TP – симметричный кабель; CP – коаксиальный кабель.

В данном интерфейсе скорости ниже по сравнению с private UNI. Основной причиной этого является относительная дороговизна пропускной способности сетей общего пользования, и, следовательно, относительно большой потребности в низкоскоростном доступе к сетям общего пользования.

Физический уровень АТМ имеет существенное архитектурное отличие от привычного по хорошо известной эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМ ВОС). В ЭМ ВОС физический уровень имеет дело с отдельными битами, передавая их через среду.

В АТМ передаются ячейки и сеть АТМ оперирует именно ячейками. Следовательно, часть функций по обработке ячеек должны быть отнесены к физическому уровню. Совокупность данных функций образуют подуровень преобразования передачи (Transmission Convergence Sublayer – TCS). Подуровень TCS определяет границы ячеек. Если имеется битовый поток, то в данном потоке уровень выделяет границы ячеек.

Если в системе имеются ячейки для передачи, т. е. есть данные, которые необходимо передать, то система передает эти ячейки сети АТМ. Если в системе нет ячеек, т. е. передано все, что хотелось, то система все равно должна продолжать передавать ячейки, чтобы сохранить синхронизацию и обеспечить работоспособность сети. В последнем случае используются так называемые «пустые» ячейки. Одной из функций подуровня TCS является вставка пустых ячеек на передаче и их изъятие на приеме с целью поддержания постоянства потока ячеек.

В качестве примера работы системы на физическом уровне целесообразно рассмотреть синхронную цифровую иерархию (Synchronous Digital Hierarchy – SDH), которая является наиболее популярной средой для АТМ.

SDH осуществляет контейнерный перенос информационных потоков независимо от конкретной среды. Обычной физической средой для SDH является оптическое волокно. Кроме оптоволоконной средой передачи может служить радиопередача (STM-RR) или неэкранированный симметричный кабель.

Синхронный транспортный модуль (Synchronous Transport Module – STM) SDH первого уровня STM-1 изображается в виде таблицы из 9 строк и 270 столбцов, как показано на рисунке 2.2. Каждая ячейка таблицы представляет собой один байт (октет), несущий информацию со скоростью 64 кбит/с. Передача бит STM осуществляется последовательно слева направо сверху вниз. Длительность STM составляет 125 мкс. Первые девять столбцов STM-1 предназначены для передачи служебной информации. В частности, в первых двух байтах передается синхросигнал. Кроме того, для служебных целей в ряде случаев может использоваться еще один столбец.



Рис. 2.2. Пример формирования потока SDH STM-1, 155 Мбит/с

Скорость передачи нагрузки (ячеек) составляет $(9 \times 260 \times 8) / 125$ мкс, что составляет 149,76 Мбит/с. Действительно, для передачи нагрузки (ячеек) остается 260 столбцов по 9 строк по 64 кбит/с, т. е. скорость передачи ячеек составляет 149,76 Мбит/с. SDH имеет прекрасные возможности по масштабируемости, и в настоящее время

стандартизированы синхронные транспортные модули более высоких порядков: STM-4 (622 Мбит/с) и STM-16 (2,5 Гбит/с) и даже STM-64 со скоростью передачи 10 Гбит/с.

2.4. Структура ячейки АТМ

Управляющие поля ячейки АТМ показаны на рисунке 2.3. Первый вопрос, который возникает о размере ячейки, это: «Почему 53 байта?». Это не часто используемое число, к тому же не очень большое. Рассмотрим причины, почему длина ячейки была выбрана именно такой.

Первая – задержка, возникающая при разбиении данных на пакеты. Рассмотрим обычный цифровой речевой сигнал (ИКМ) со скоростью передачи 64 кбит/с. Речевой сигнал кодируется 8000 отсчетами в секунду. Каждый отсчет представляется в виде слова длиной 8 бит, которое отражает амплитуду аналогового сигнала в данный момент времени. Следовательно, передача 8000 отсчетов по 8 бит в секунду требуют результирующей скорости 64 кбит/с.



Рис. 2.3. Структура заголовка ячейки АТМ

На рисунке 2.3 бит CLP – бит приоритета потери ячейки. Рассмотрим задачу заполнения ячейки. Если ячейка имеет 48 байт нагрузки, то первый отсчет речевого сигнала будет находиться в частично заполненной ячейке в течение 40 периодов дискретизации и после этого будет направлен в сеть. То есть первый отсчет будет задержан на время около 5 мс, прежде чем ячейка будет направлена в сеть. Этот эффект называется «задержка, возникающая при разбиении данных на пакеты», или «задержка пакетизации» («packetization delay») и очень важен при работе с трафиком, требующим реального масштаба времени при передаче (изохронный трафик). Типичным образцом изохронного трафика является речевой сигнал.

Примером влияния задержки на качество передачи речи может служить ведение переговоров по спутниковому каналу (задержка около 250 мс в одну сторону). Наряду с неудобством ведения переговоров из-за снижения чувства контакта между абонентами возможно возникновение мешающих эхосигналов. Данные проблемы могут возникать и при небольшой задержке порядка 10...100 мс.

Размер ячейки должен быть малым для обеспечения малого времени задержки. Однако необходим некоторый заголовок ячейки для обеспечения ее доставки по назначению.

С другой стороны, нельзя сильно уменьшать длину ячейки, чтобы не терять эффективность. Следовательно, при выборе длины ячейки необходимо найти компромисс между приемлемой величиной задержки и достаточно высокой эффективностью. При использовании заголовка длиной 5 байт и 48 байт нагрузки размер заголовка составляет около 10%.

Кроме абсолютной величины задержки очень важным параметром является изменение величины задержки, называемый также «вариация задержки», или «джиттер задержки» (delay variation). В качестве примера рассмотрим источник сообщений длиной 100

байт, которые необходимо передавать с помощью цифрового потока DS-3. Будем рассматривать не всю сеть, а только одно соединение. Предположим также, что данное соединение используют совместно с данным еще 100 источников сообщений. Какие случаи будут наилучшими и наихудшими с точки зрения задержки для сообщения длиной 100 байт?

Наилучшим случаем является тот, когда в момент появления сообщения от нашего источника отсутствуют сообщения от прочих источников. Сообщение направляется в линию практически без задержки.

Наихудшим является случай одновременной активности всех источников. При этом необходимо ждать, пока все прочие источники отправят свои ячейки: посылается одна ячейка, ожидается пока свои ячейки отправят остальные 100 источников, затем посылается следующая ячейка и т. д.

Рассмотрим этот наихудший случай. Если длина нагрузки в ячейке мала, то необходимо передавать много ячеек и эффективность передачи мала. Если длина нагрузки в ячейке велика, то приходится долго ждать, пока прочие источники завершат передачу своих ячеек [2, 3, 6].

В качестве аналогии можно привести время ожидания проходящего поезда на железнодорожном переезде. Чем длиннее поезд, тем дольше приходится ждать, пока он пройдет и шлагбаум будет открыт. И, конечно, ждать почти не придется, если вагоны будут следовать отдельно. По мере увеличения длины ячейки время ожидания доступа к линии растет почти линейно. Естественно, важный вопрос выбора размера ячейки подвергался интенсивному анализу со стороны многочисленных экспертов.

В Европе определяющим параметром являлась задержка, возникающая при разбиении данных на ячейки. Европейские

телефонные сети, в основном, не очень большие и на них практически не используется технология эхокомпенсации. Для европейских операторов нежелательно оборудовать сети эхокомпенсаторами, поэтому они предложили использовать небольшую длину нагрузки ячейки.

На сети Северной Америки технология эхокомпенсации применяется уже давно, поскольку ряд каналов данной сети имеет значительную протяженность. Операторы североамериканской сети предпочитали сделать длину нагрузки в ячейке достаточно большой, чтобы не терять эффективность при достаточно большой доли заголовка в ячейке.

Таким образом, сформировались две противоречивые точки зрения. Операторы Северной Америки предложили использовать 64 октета нагрузки и 5 октетов заголовка. Европейские – 32 октета нагрузки и 4 октета заголовка. МСЭ выбрал компромиссное решение: применять в ячейках АТМ 48 октетов нагрузки и 5 октетов заголовка.

2.5. Определение границ ячеек при использовании SDH

Определение границ ячеек при использовании SDH производится по контрольной сумме заголовка ячейки (HEC). Данная операция аналогична поиску синхросигнала. При определении границ ячейки приемник предполагает, что имеющиеся в настоящий момент 5 байт являются заголовком, подсчитывает контрольную сумму по первым четырем байтам и сравнивает результат с пятым. Если суммы совпадают, то приемник отсчитывает 48 байт и вычисляет контрольную сумму снова. При выполнении данного условия несколько раз подряд можно считать, что границы ячеек определены правильно. Если контрольные суммы не совпадают, производится сдвиг временного окна, и поиск продолжается. Вероятность того, что контрольная сумма будет правильно подсчитана по находящимся в информационной части ячейки пользовательским данным, исчезающе мала.

Рассмотрим случай, когда ячейка содержит одни нули. В этом случае контрольная сумма, вычисленная с помощью обычного циклического кода, будет также равна нулю. Следовательно, вычисление контрольной суммы должно проводиться по алгоритмам, отличным от простого циклического кода.

Конкретной реализацией алгоритма является вычисление контрольной суммы с помощью циклического кода с последующим поразрядным сложением контрольной суммы по модулю 2 с определенной «маской». Даже в случае нулевой контрольной суммы результат будет отличен от нулевого. На приеме перед вычислением контрольной суммы маска снимается.

Результирующая скорость передачи нагрузки (без учета заголовков ячеек) при использовании STM-1 составляет около 135 Мбит/с.

2.6. Виртуальные соединения

Итак, длина ячейки АТМ зафиксирована на 53 байтах. Рассмотрим, каким образом ячейки перемещаются от источника к получателю.

В заголовке ячейки для этого предусмотрены поля VPI/VCI. Коммутатор АТМ имеет таблицу соединений (или таблицу маршрутизации – routing table), которая содержит соответствия между входными и выходными полями VPI/VCI и портами коммутатора.

При поступлении ячейки коммутатор анализирует значение VPI/VCI в заголовке. Предположим, что входящий VPI/VCI - 0/37. Поскольку ячейка поступила на порт 1, коммутатор анализирует запись в таблице для порта 1 и обнаруживает, что ячейка должна быть направлена в порт 3. Кроме того, при посылке на порт 3 необходимо поменять VPI/VCI ячейки на значение 0/76. Схематично сказанное показано на рисунке 2.3.

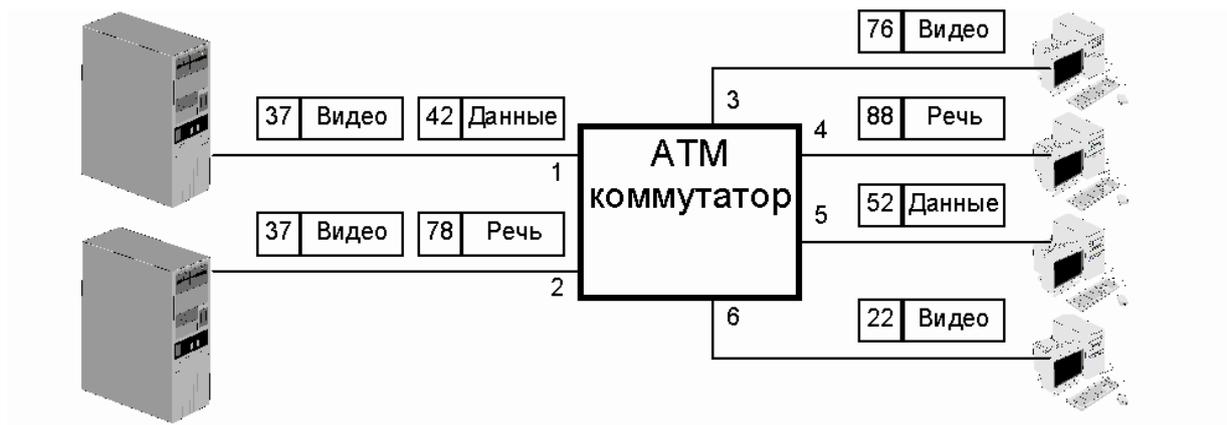


Рис. 2.4. Пример смены пара метров VPI/VCI

Таким образом, заголовок ячейки меняется при ее прохождении через коммутатор. Конечно, информация (нагрузка) остается без изменений.

Значения VPI/VCI меняются по двум причинам. Во-первых, всего может быть около 17 миллионов значений VPI/VCI. Если сеть очень велика, то данного числа может не хватить для описания соединений всей сети [1, 2, 6].

Впрочем, возможно более важным является соображение администрирования уникальных значений VPI/VCI в большой сети. Например, как можно гарантировать, что устанавливаемое в Хабаровске новое соединение будет иметь уникальное значение, отличное от всех уже существующих в мире?

Интересно отметить, что оба эти соображения весьма актуальны для глобальной сети Internet, где доступно ограниченное число адресов IP. Если сделать адресное пространство достаточно большим для обслуживания универсальных адресов, то размер заголовка в сравнении с нагрузкой будет неприемлемым. Значение VPI/VCI является значимым только в отношении данного интерфейса. Действительно, в примере значение «37» используется для обоих интерфейсов, но не возникает двусмысленности, поскольку они являются физически различными. Существует отдельная запись для значения 37 порта 2, которому, конечно, соответствует другой пункт назначения.

Таким образом, комбинация значений VPI/VCI позволяет сети ставить в соответствие конкретную ячейку конкретному соединению, и, следовательно, направлять ячейку по назначению.

2.7. Виртуальные пути и виртуальные каналы

Почему применяются два поля? Виртуальный путь (VPI) – это пучок виртуальных каналов (VCI). Длина VPI составляет 8 бит, т. е. могут существовать 256 различных пучков. Виртуальные каналы, объединяются в виртуальные пути. Конечно, виртуальные каналы имеют уникальные значения VCI, но эти значения могут повторяться в каждом из виртуальных путей.

Почему применяются различные значения VPI и VCI? Существуют два способа установления соединения на сети АТМ. Во-первых, напрямую, когда в таблице соединений коммутатора поток входящих ячеек транслируется на выход коммутатора с тем же значением виртуального пути, например, VPI-0/VCI-37 в VPI-0/VCI-76.

Во-вторых, предположим, что имеется транспортная сеть и необходимо соединить два пункта посредством АТМ. Очевидно, было бы хорошо иметь пучок соединений. Тогда возможно устанавливать и разъединять виртуальные каналы между двумя пунктами без обращения к транспортной сети и, что более важно, без выполнения протоколов соединения транспортной сети.

В этом собственно и состоит смысл виртуального пути. Виртуальные каналы коммутируются как пучок и направляются далее в сеть без изменения значений VCI.

Сеть не меняет (не обращает внимания) на значения VCI и рассматривает только поле VPI. Поле VPI может меняться, но пучок в целом проходит через сеть как единый объект. При необходимости добавления еще одного канала в пучок должно взаимодействовать только оконечное оборудование и нет необходимости перенастраивать сеть, и обращаться к оператору сети. Такой тип обслуживания называется «Службой виртуального пути» («Virtual Path Service»).

2.8. Приоритет потери ячейки

В любой сетевой технологии с большей или меньшей вероятностью возникают ситуации с резким увеличением риска перегрузки отдельных элементов сети, что является недопустимым. Для исключения подобных ситуаций принимаются различные меры организационно-технического характера. Наверное, еще не было другого одиночного бита в истории телекоммуникаций, который выполнял бы столько функций и был бы так важен, как бит приоритета потери ячейки (cell loss priority). Во всяком случае, это наиболее важный бит в заголовке ячейки АТМ.

Назначение данного бита следующее. Ячейки с установленным битом CLP будут сброшены до сброса ячеек, у которых данный бит не установлен. Иначе говоря, при наличии данного бита ячейка несет в себе признак «сбрось меня». Рассмотрим причины, по которым ячейки могут помечаться как излишние. Во-первых, данный признак может установить терминальное (пользовательское) оборудование. Например, это может быть желательно, когда используются услуги глобальной транспортной сети и имеет место экономическая целесообразность использовать ячейки с низким приоритетом. Также это может использоваться при установке различных приоритетов различным типам трафика, когда используется согласованный уровень услуг. Кроме того, бит приоритета потери ячейки может быть установлен сетью АТМ. Для уяснения принципов установки данного бита сетью рассмотрим принципы управления трафиком сети АТМ [1, 3, 4].

2.9. Категории обслуживания АТМ

Одной из ключевых идей АТМ является гарантия качества обслуживания. Рассмотрим основные категории обслуживания. Категория постоянной скорости передачи (Constant Bit Rate – CBR)

представляет собой эмуляцию соединения. В этом случае сеть АТМ должна переносить непрерывный поток бит (например, 64 кбит/с). В этом случае подразумевается малая задержка и малое изменение задержки.

Категория переменной скорости передачи реального времени (Real-Time Variable Bit Rate – rt-VBR) определяет довольно жесткие требования к задержке, но относительно низкие требования к потере ячеек. Данная категория применима к типам трафика, чувствительным к задержке, но допускающим переменную скорость передачи.

Категория переменной скорости передачи нереального времени (Non-Real-Time Variable Bit Rate – nrt-VBR) является дополнением категории rt-VBR. В этом случае значение задержки не является определяющим, но потери ячеек должны быть крайне малы. Примером такого типа трафика является электронная почта.

Категорию неспецифицированной скорости передачи (Unspecified Bit Rate – UBR) можно характеризовать как «связь на грани срыва», т. к. UBR не предоставляет никаких гарантий.

Категория доступной скорости передачи (Available Bit Rate – ABR) использует управление потоком. Основной целью этой категории обслуживания является малая вероятность потери ячеек в сети.

2.10. Классификация услуг

Ролью уровней адаптации АТМ (ATM Adaptation Layer – AAL) как раз и является обработка содержимого ячеек. Механизм обработки содержимого ячеек предполагает некоторый систематизированный подход к классификации различных типов услуг, которые могут поддерживаться сетью АТМ. Рассмотрим, каким образом определяются протоколы уровней адаптации.

В таблице 2.3 приведены результаты работы МСЭ-Т по определению классов услуг. Таблица читается по столбцам.

Для класса А требуется согласование синхронизации. Это означает, что требуется некоторое соглашение по тактовой частоте между конечными системами. Например, при передаче речи отсутствие взаимной синхронизации передающего и приемного оборудования может привести к значительному снижению качества. Обеспечение согласования синхронизации является функцией уровня адаптации. Напомним, что АТМ имеет асинхронную природу, поэтому решение единой синхронизации сети не подходит. Для класса А обеспечивается постоянная скорость потока и требуется установление соединения. Аналогично оцениваются другие классы обслуживания.

Таблица 2.3

Классификация услуг в АТМ

Класс	А	В	С	Д
Согласование синхронизации (End-to-end timing)	Требуется		Не требуется	
Скорость потока (Bit rate)	Постоянная	Переменная		
Вид соединения (Connection mode)	С установлением соединения			Без установления соединения

Примеры:

Класс А – передача речи со скоростью 64 кбит/с;

Класс В – компрессированный видеосигнал с переменной скоростью;

Класс С – Frame Relay через АТМ;

Класс D – МСЭ-Т I.364 (SMDS) через АТМ;

Класс X – Трансляция ячеек (raw cell service) (прозрачный AAL).

Качество обслуживания существенно зависит от выполнения сетью своих обязательств по доставке ячеек, которые приняты при установлении соглашения по трафику. Качество обслуживания

должно оцениваться на приемном конце, т. е. с точки зрения пользователя, как отношение числа ячеек, являющихся конформными, к общему числу отправленных источником ячеек. При этом под конформными ячейками принято понимать ячейки АТМ, которые удовлетворяют принятым соглашениям по трафику. Для упрощения процесса запроса со стороны абонентов качества обслуживания установлены классы качества обслуживания.

Классы качества обслуживания принято определять для каждого соединения виртуальных путей или соединения виртуальных каналов согласно Рек. I.350 СС МСЭ с помощью следующих параметров:

- вероятности (коэффициента) потери ячеек при нулевом значении поля приоритета потери ячеек (CLP=0);
- вероятности (коэффициента) потери ячеек, при значении поля приоритета потери ячеек равном единице (CLP=1);
- среднего времени задержки ячеек для общего потока ячеек (CLP=0+1);
- разброса времени задержки для общего потока ячеек (CLP=0+1).

Термин «Общий поток (CLP=0+1)» относится ко всем ячейкам в виртуальном соединении. Таким образом, 1-й класс качества обслуживания обеспечивает выполнение требований служб класса А. Этот класс качества обслуживания должен обеспечивать характеристики, сравнимые с характеристиками, которые обеспечиваются в настоящее время при аренде цифровых каналов и трактов.

2-й класс качества обслуживания, обеспечивающий выполнение служб класса В. Этот класс качества обслуживания предназначен для мультимедийных приложений при транспортировании видео и аудио информации с изменяющейся скоростью передачи.

3-й класс качества обслуживания, обеспечивающий выполнение требований к качеству обслуживания служб класса C. Этот класс качества обслуживания предназначен для службы передачи данных, ориентированных на соединение (например, Frame Relay).

4-й класс качества обслуживания, обеспечивающий выполнение требований к качеству обслуживания служб класса D. Этот класс предназначен для служб передачи данных без установления соединения (например, IP или SMDS). Необходимо отметить, что сетевой оператор имеет право обеспечивать одинаковое качество обслуживания для всех или какой-нибудь группы классов качества обслуживания, так как выполнение сетью требования 1-го класса качества обслуживания означает выполнение требования для всех других классов.

Для соединений, в которых не требуется высокое качество обслуживания, класс качества обслуживания может не задаваться. Для таких соединений, которые можно назвать «на грани риска» (At Risk), сеть предоставляет оставшиеся сетевые ресурсы от тех соединений, которые задавали параметры трафика. Следует отметить, что это позволяет операторам сети повысить эффективность использования сетевых ресурсов, а потребителям, которым в силу ряда причин не нужно очень высокое качество обслуживания, сеть как бы предоставляет возможность сделать «лучшую попытку» (Best Effort), т. е. рискнуть. Важной особенностью услуги «лучшая попытка» является то, что пользователь должен быть готов к тому, что выделяемые ему сетевые ресурсы могут изменяться в очень больших пределах как от сеанса к сеансу, так и во время сеанса. Услугу этого типа принято называть незаданной, или неспецифицированной скоростью передачи (UBR – Unspecified Bit Rate), хотя с полным основанием ее можно называть, встав на точку зрения пользователя, и как неопределенная или негарантированная скорость

передачи [1, 5, 6]. Услуга, предоставляемая сетью с контролем потока ячеек пользователя и с адаптацией к складывающейся обстановке, Форумом ATM названа как доступная скорость передачи (ABR – Available Bit Rate), предоставляемая сетью пользователю.

2.11. Управление трафиком

Сеть ATM должна однозначно и заблаговременно определять свои ресурсы. Сеть должна поддерживать различные типы трафика и предоставлять услуги различного уровня. Например, качественная передача речи требует малой задержки и малого джиттера задержки. Сеть должна определить свои ресурсы, чтобы это гарантировать. Решением этой проблемы является так называемое управление трафиком (traffic management).

При установке соединения (канала или пути) терминал устанавливает с сетью соглашение по трафику (traffic contract). Это позволяет сети ATM или сети оператора проанализировать существующие возможности сети и определить, может ли устанавливаемое соединение обеспечить предъявляемые к нему требования. Если ресурсы сети недостаточны, в соединении будет отказано. При наличии ресурсов сеть находит маршрут с достаточной емкостью для обеспечения характеристик трафика.

Проблема заключается в том, что характеристики трафика конкретного приложения редко известны точно. Рассмотрим передачу файлов. Казалось бы, что может быть проще. Однако до начала передачи неизвестно, какого размера файлы и как часто предполагается их передавать. Поэтому невозможно заранее определить, какими будут характеристики трафика.

Итак, идея управления трафиком заключается в следующем. Сеть «смотрит», выполняют ли входящие ячейки соглашение по трафику. Ячейки, нарушающие соглашение (неконформные ячейки),

имеют установленный бит CLP. Это означает, что они являются претендентами на сброс. Однако это не означает, что неконформные ячейки будут обязательно сброшены, а только то, что они будут сбрасываться первыми при возникновении перегрузке сети. Теоретически, если ресурсы сети определены правильно, сброс всех ячеек с установленным битом CLP будет являться результатом поддержания уровня обслуживания в некоторой точке сети. Следовательно, это является критичным для достижения цели АТМ: для гарантирования качества обслуживания (или нескольких типов качества обслуживания) необходимы различные типы трафика.

Теория и практика проектирования и планирования корпоративных телекоммуникационных сетей остро нуждается в развитии научных основ, состоящих из моделей и методов для проведения численных исследований и расчетного обоснования структурно-сетевых параметров на базе асинхронного режима доставки, являющихся предметом исследований, не ограниченных масштабами сети, легко адаптируемых для различных проектных и управленческих ситуаций, учитывающих устойчивую тенденцию развития сетей на интеграцию, предназначенных для решения с системных позиций широкого класса прикладных структурно-сетевых задач расчета сетевых фрагментов.

2.12. Контрольные вопросы

1. Назовите основные отличия технологии АТМ от технологий X.25 и FR.
2. Назовите уровни АТМ и сформулируйте их назначение.
3. Почему уровень адаптации АТМ прозрачен для сети?
4. Назовите классы обслуживания абонентов АТМ.
5. В чем заключается суть асинхронной передачи ячеек?
6. Какова структура ячейки АТМ?
7. Назначение бита CLP в АТМ.
8. Каким образом системы АТМ согласуются с первичными сетями?
9. Поясните суть виртуального направления в адресной системе АТМ.
10. Поясните суть виртуального канала в адресной системе АТМ.
11. Природа образования и использование в системе АТМ пустых ячеек.
12. Назовите назначение и типы плезиохронных систем передачи.
13. Сформулируйте назначение интерфейсов физического уровня АТМ.

Раздел 3. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕАЛИЗАЦИИ СЕТЕЙ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

3.1. Основная концепция сетей нового поколения

Сегодняшним клиентам рынка инфокоммуникационных услуг требуется широкий класс разных служб и приложений, предполагающий большое разнообразие протоколов, технологий и скоростей передачи. При этом пользователи преимущественно выбирают поставщика служб в зависимости от цены и надежности продукта.

В существующей ситуации на рынке инфокоммуникационных услуг сети перегружены: они переполнены многочисленными интерфейсами клиентов, сетевыми слоями и контролируются слишком большим числом систем управления. Более того, каждая служба стремится создать свою собственную сеть, вызывая эксплуатационные расходы по каждой службе, что не способствует общему успеху и приводит к созданию сложной сети с тонкими слоями и низкой экономичностью. При эволюции к прозрачной сети главной задачей является упрощение сети – это требование рынка и технологии. Большие эксплуатационные затраты подталкивают операторов к поиску решений, упрощающих функционирование, при сохранении возможности создания новых служб и обеспечении стабильности существующих источников доходов, подобных речевым службам.

Указанные нюансы и проблемы, а также возрастающая конкуренция требует от компаний повышения эффективности бизнеса и гибкости управления, что предполагает следующие действия:

- создание единой информационной среды предприятия;
- формирование гибких мультисервисных корпоративных сетей, прозрачных к передаче мультимедийного трафика;

- оптимизация управления IT-инфраструктурой;
- использование современных сервисов управления вызовами;
- предоставление мультисервисных услуг;
- управление услугами в реальном времени;
- поддержка мобильных пользователей;
- мониторинг качества предоставляемых услуг и работы сетевого оборудования.

Потребность операторов сетей связи получать все новые прибыли заставляет их задуматься над созданием сети, которая позволяла бы реализовывать потенциальные возможности:

- как можно быстрее и дешевле создавать новые услуги с тем, чтобы постоянно привлекать новых абонентов;
- как уменьшать затраты на обслуживание дорогостоящих элементов сети и поддержку разнородных пользователей;
- каким образом обеспечить независимость от многочисленных поставщиков телекоммуникационного оборудования;
- что необходимо выполнить, чтобы быть конкурентоспособными в условиях либерализация в инфокоммуникационной отрасли и новых достижений в технологиях, которые приводят к появлению новых операторов связи и сервис-провайдеров, предлагающих более дешевый и широкий спектр услуг.

Сеть NGN характеризуется следующими фундаментальными признаками:

- сеть NGN однозначно строится на принципах коммутации пакетов;
- в такой сети функции управления соединением отделены от среды передачи, отделена процедура вызова от сессии и отделены всевозможные приложения от сервиса;
- отделена плоскость управления сервисами от транспортной инфраструктуры и предоставления открытых интерфейсов;

- поддержка широкого спектра сервисов, приложений и механизмов на основе унифицированных элементов;
- широкополосные возможности со сквозной реализацией QoS;
- взаимодействие с существующими сетями с помощью открытых интерфейсов с обеспечением мобильности в широком смысле;
- неограниченный доступ пользователей к разным поставщикам сервисов;
- единообразные характеристики для сервисов, ощущаемых пользователем как одни и те же;
- конвергенция фиксированных и мобильных сетей;
- независимость функций, связанных с сервисом, от нижележащих

(в смысле 7-й уровневой модели OSI) транспортных технологий;

- поддержка различных технологий «последней мили»;
- выполнение всех регламентных требований, например, для аварийной связи, защиты информации, конфиденциальности, и т. д.

Таким образом, в основу концепции NGN заложена идея о создании универсальной сети, которая бы позволяла переносить любые виды информации, такие как: речь, видео, аудио, графику и т. д., а также обеспечивать возможность предоставления неограниченного спектра инфокоммуникационных услуг. Базовым принципом концепции NGN является отделение друг от друга функций переноса и коммутации, функций управления вызовом и функций управления услугами.

3.2. Идеологические принципы построения сети NGN

Идеология сетей NGN аккумулировала в себе накопленный опыт эксплуатации сетей предыдущих поколений, основные из которых были описаны в первых двух разделах. Сети нового поколения должны поддерживать требования и возможности реализации в новых

условиях протоколов сетей предыдущих поколений. Поэтому NGN предусматривают:

во-первых, максимально простое подключение к сети, которое должно быть удобным, выполняться без использования промежуточных систем, при этом использование традиционно применяемых протоколов и сервисов должно быть доступно в прежнем объеме;

во-вторых, сначала строится базовая пакетная транспортная сеть на базе компьютерных технологий, обеспечивающих соответствующее качество, надежность, гибкость и масштабируемость, а потом поверх этой сети строится мощный комплекс сервисов.

В итоге все информационные потоки интегрируются в единую сеть.

На этой основе формируются главные требования к перспективным сетевым технологиям. Такие технологии обеспечивают:

- «мультисервисность», под которой понимается независимость технологий предоставления услуг от транспортных технологий;

- «широкополосность», под которой понимается возможность гибкого и динамического изменения скорости передачи информации в широком диапазоне в зависимости от текущих потребностей пользователя;

- «мультимедийность», под которой понимается способность сети передавать многокомпонентную информацию (речь, данные, видео, аудио и др.) с необходимой синхронизацией этих компонент в реальном времени и использованием сложных конфигураций соединений;

- «интеллектуальность», под которой понимается возможность управления услугой, вызовом и соединением со стороны пользователя или поставщика услуг;

- «инвариантность доступа», под которой понимается возможность организации доступа к услугам независимо от используемой технологии;

- «многооператорность», под которой понимается возможность участия нескольких операторов в процессе предоставления услуги и разделение их ответственности в соответствии с их областью деятельности.

Это обеспечивает многочисленные степени свободы пользователям и гармоничное взаимодействие операторов, предоставляющих им разнообразные услуги. В частности, обеспечение, создание, развертывание и управление любыми видами служб (известных и еще неизвестных). Предусматриваются службы, использующие произвольного рода среду с любыми схемами кодирования и сервисами (данных, диалоговыми, одноадресными, многоадресными и широковещательными, передачи сообщений, простой службой передачи данных), в реальном времени и с отложенной доставкой, чувствительных к задержке и допускающие задержку, требующие различной ширины полосы пропускания, гарантированные и негарантированные.

Предусматривается и реализуется четкое разделение между функциями служб и транспортными функциями, с тем, чтобы обеспечить разъединение служб и сетей, являющееся одной из основных характеристик NGN. Предоставление как известных сетевым операторам (существующих) служб, так и вновь формируемых служб, независимо от типа используемых сетей и вариантов доступа к ним. Функциональные элементы политики управления, сеансов, медиа ресурсов, служб доставки и безопасности должны быть распределены по инфраструктуре, включая как существующие, так и новые сети. Осуществление межсетевого

взаимодействия (interworking) между NGN и существующими сетями, такими как ТФОП, ЦСИС, СПС посредством шлюзов. Поддержка существующих и «предназначенных для работы на NGN» оконечных устройств, а также решение проблем миграции речевых служб в инфраструктуру NGN, качества обслуживания (QoS), безопасности. Универсальность сетей NGN позволяет обеспечить совместимое предоставление услуг пользователям, то есть пользователь будет рассматриваться в качестве единственного лица при использовании им различных технологий доступа, вне зависимости от того, какими устройствами (устаревшими, новыми или перспективными) он располагает.

Кратко преимущества сетей NGN можно сформулировать так:

1. Предоставление универсальных высокоскоростных сервисов.
2. Масштабируемость сетевых ресурсов.
3. Совместимость с международными стандартами и известными рекомендациями МСЭ, доступ по общепринятым интерфейсам (таким, как Ethernet), поддержка традиционных сетевых технологий (ATM, FR и др.).
4. Мультипротокольная поддержка (прозрачность и гибкость).
5. Управление трафиком (Traffic Engineering).
6. Резервирование полосы пропускания.
7. Классификация видов трафика.
8. Управление качеством обслуживания (QoS).
9. Совершенные механизмы защиты (например, MPLS Fast Reroute).

К недостаткам на современном этапе развития сетей NGN следует отнести: отсутствие (по вполне понятным причинам) для них четкой нормативной базы для разных поставщиков сетевого оборудования.

3.3. Трехуровневая архитектура NGN

Сети следующего поколения должны предоставлять ресурсы (инфраструктура, протоколы и т. п.) для создания, внедрения и управления всеми видами услуг (существующих и будущих). В рамках NGN основной упор делается на возможность адаптации услуги сервис-провайдерами, многие из которых также обеспечат своим пользователям возможность приспособить свои собственные услуги. Сети нового поколения включают в себя программируемые прикладные интерфейсы (Application Programming Interfaces – API), обеспечивающие поддержку разработки, предоставления и управления услугами. Функциональная модель сетей NGN, в общем случае, может быть представлена тремя уровнями: транспортным, уровнем управления коммутацией и передачей информации и уровнем управления услугами. Архитектура NGN представлена на рисунке 3.1.

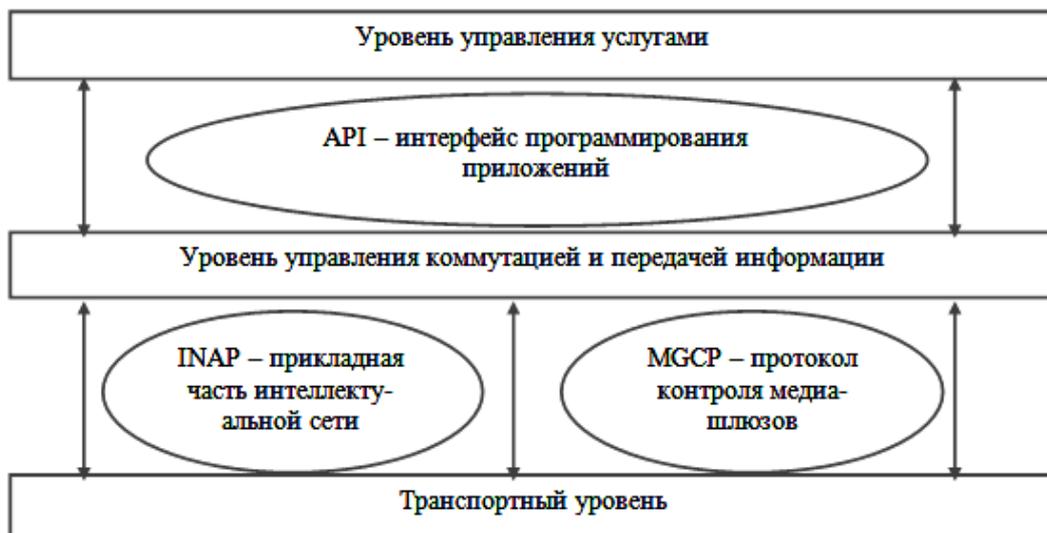


Рис. 3.1. Обобщенная структура архитектуры сетей NGN

Задачей транспортного уровня является коммутация и прозрачная передача информации пользователя.

Задачей уровня управления коммутацией и передачей является обработка информации сигнализации, маршрутизация вызовов и управление потоками.

Уровень управления услугами содержит функции управления логикой услуг и приложений и представляет собой распределенную вычислительную среду, обеспечивающую следующие потребности: предоставление инфокоммуникационных услуг; управление услугами; создание и внедрение новых услуг; взаимодействие различных услуг.

Особенностью технологии NGN являются открытые интерфейсы между транспортным уровнем и уровнем управления коммутацией. Трехуровневая модель сети NGN представлена на рисунке 3.2.

Кроме этих 3 уровней, существует еще один важный уровень – уровень доступа, который обеспечивает доступ пользователям к ресурсам сети. Функции сети доступа обеспечивают подключение конечных пользователей к сети, а также сбор и агрегацию трафика, поступающего из сети доступа в транспортную магистраль (ядро).

Эти функции также реализуют механизмы управления качеством обслуживания QoS, связанные непосредственно с пользовательским трафиком, включая управление буферами, очередями и расписаниями, пакетную фильтрацию, классификацию трафика, маркировку трафика, определение политик обслуживания и формирование профиля передачи трафика.

Основными услугами сети доступа должно являться обеспечение подключения следующих типов абонентов: абоненты аналогового доступа ТФОП; абоненты доступа ЦСИС; абоненты доступа xDSL; абоненты выделенных каналов связи $N \times 64$ кбит/с и 2 Мбит/с; абоненты, использующие для доступа оптические кабельные технологии (PON); абоненты, использующие для доступа структурированные кабельные системы (HFC); абоненты, использующие системы беспроводного доступа и радиодоступа (Wi-Fi).

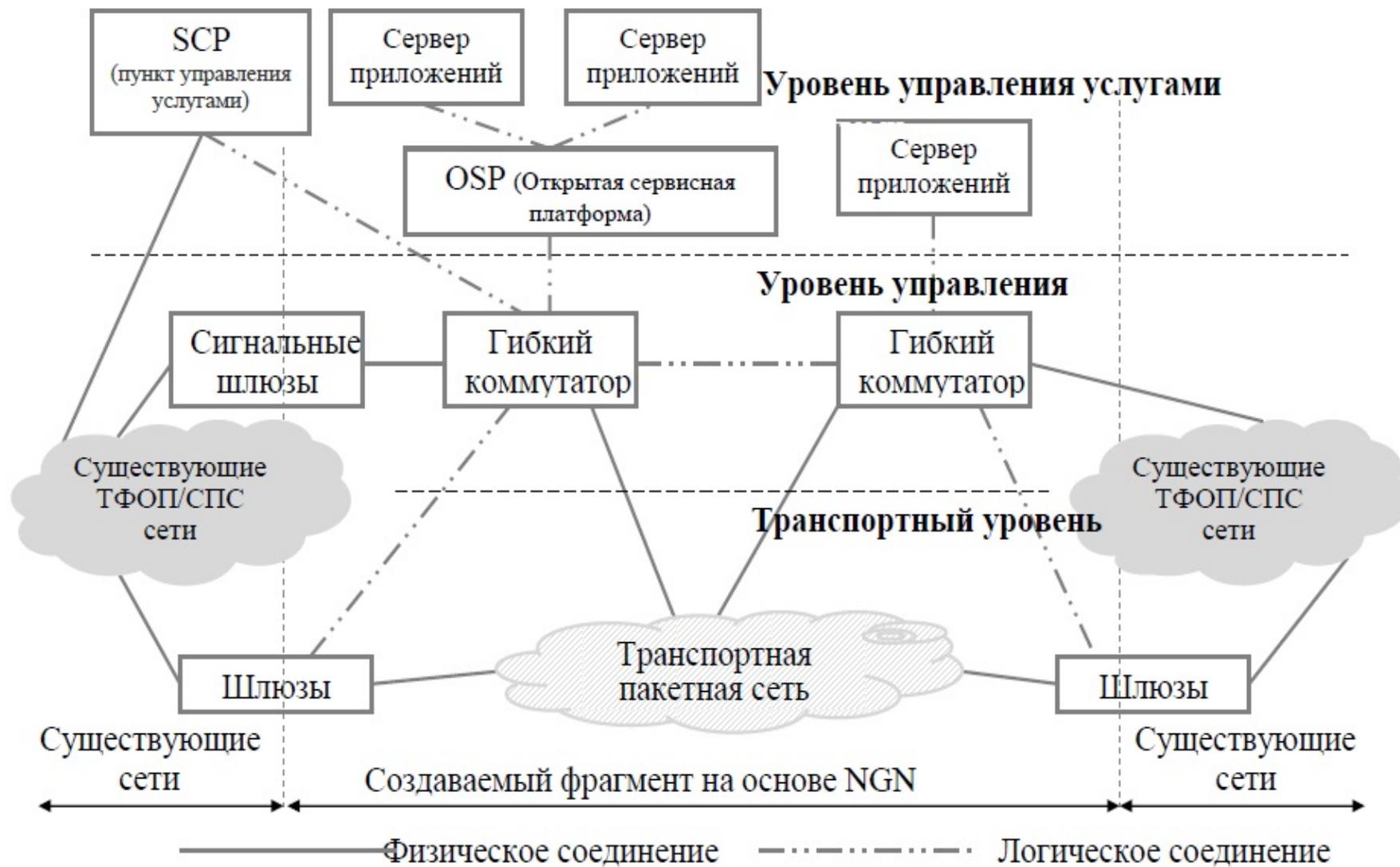


Рис. 3.2. Трехуровневая модель сети NGN

Если представить топологию сети NGN в виде набора плоскостей, как показано на рисунке 3.3, то внизу окажется плоскость абонентского доступа (базирующаяся, например, на трех средах передачи: металлическом кабеле, оптоволокне и радиоканалах), далее идет плоскость коммутации (коммутации каналов и/или коммутации пакетов). В указанной плоскости находится и структура мульти-сервисных узлов доступа. Над ними располагаются программные коммутаторы SoftSwitch, составляющие плоскость программного управления, выше которой находится плоскость интеллектуальных услуг и эксплуатационного управления услугами.

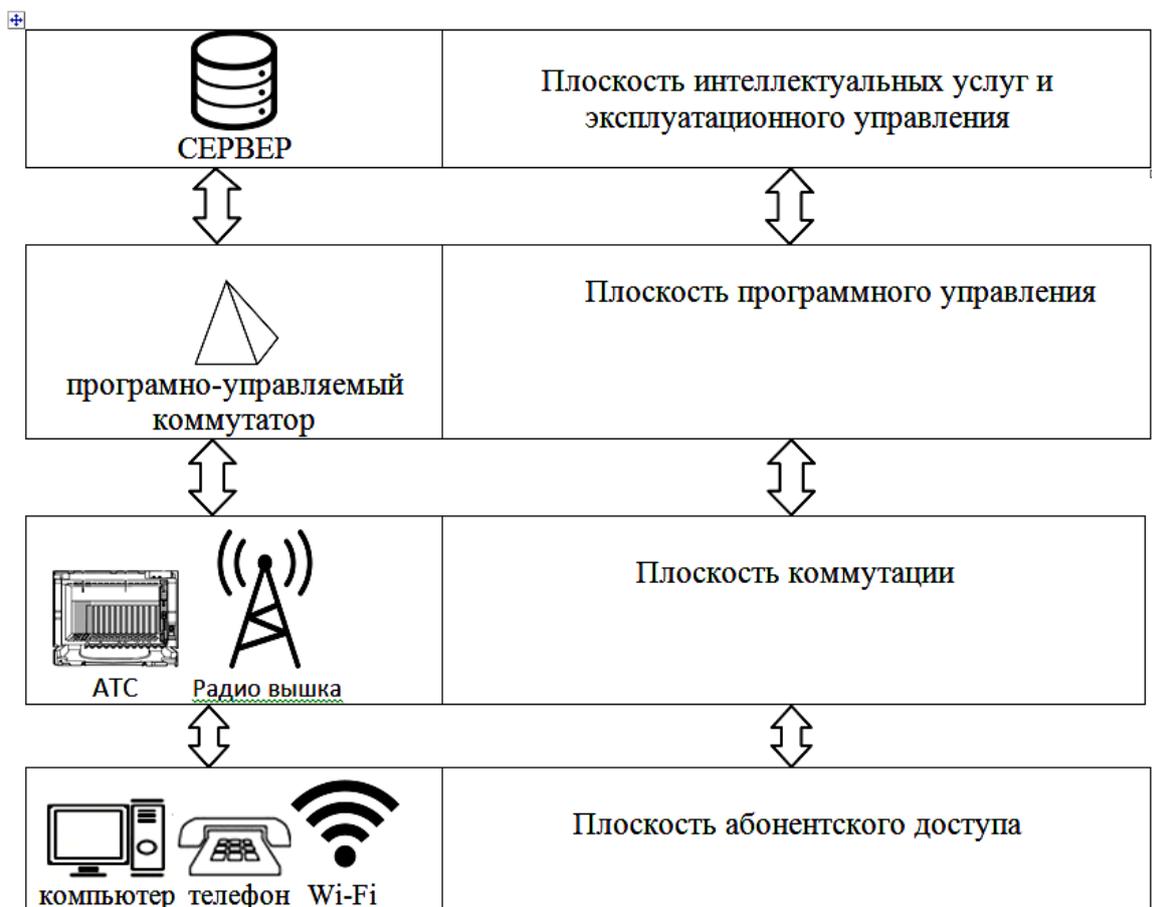


Рис. 3.3. Структура уровней NGN

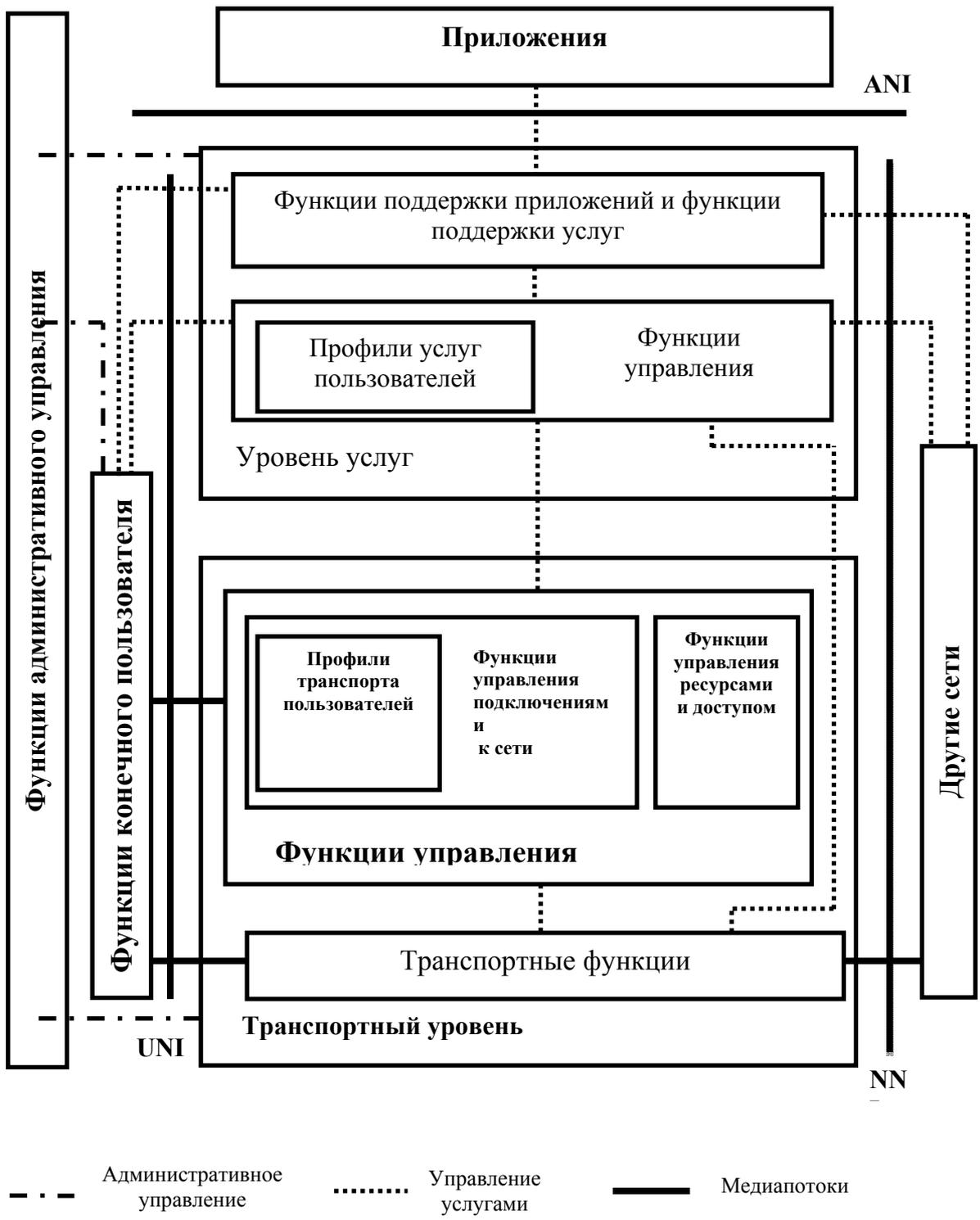


Рис. 3.4. Структура общая архитектура NGN

Общая функциональная архитектура NGN по рекомендациям МСЭ-T Y-2012 представлена на рисунке 3.4. Функции сети доступа (access network functions) обеспечивают подключение конечных пользователей к сети, а также сбор и агрегацию трафика, поступающего из сети доступа в транспортную магистраль (ядро). Эти функции также реализуют механизмы управления качеством обслуживания QoS, связанные непосредственно с пользовательским трафиком, включая управление буферами, очередями и расписаниями, пакетную фильтрацию, классификацию трафика, маркировку трафика, определение политик обслуживания и формирование профиля передачи трафика. При внедрении новых услуг необходима модификация или замена функционирующих коммутационных узлов и средств доступа. Чтобы услуга была прибыльной, операторы сетей должны иметь возможность реализовывать новые услуги, не затрагивая коммутирующую инфраструктуру сети.

3.4. Транспортный уровень. Транспортные сети

Транспортные функции (transport functions) обеспечивают соединение всех компонент и физически разделенных функций внутри NGN. Эти функции поддерживают передачу медиаинформации, а также информации управления (сигнализации) и технического обслуживания. Функции управления транспортной сетью (transport control functions) включают функции управления ресурсами и доступом и функции управления присоединением к сети.

Функции управления ресурсами и доступом RACFs (Resource and Admission Control Functions) действуют как арбитр между функциями управления услугами и транспортными функциями для поддержки QoS и связаны с управлением транспортными ресурсами в сети доступа и в магистральной транспортной сети. Решение по управлению основывается на информации о требуемом транспорте,

соглашениях о заданном уровне обслуживания SLA, правилах сетевой политики, приоритетах услуг и информации о состоянии и использовании транспортных ресурсов.

Функции управления подключением к сети NACFs (Network Attachment Control Functions) обеспечивают регистрацию на уровне доступа и инициализацию функций конечного пользователя для услуг доступа NGN.

Транспортный уровень сети NGN строится на основе пакетных технологий передачи информации. Основными используемыми технологиями являются АТМ и IP.

Как правило, в основу транспортного уровня мультисервисной сети ложатся существующие сети АТМ или IP, т. е. сеть NGN может создаваться как наложенная на существующие транспортные пакетные сети. Сети, базирующаяся на технологии АТМ, имеющей встроенные средства обеспечения качества обслуживания, могут использоваться при создании NGN практически без изменений. Использование в качестве транспортного уровня NGN существующих сетей IP потребует реализации в них дополнительной функции обеспечения качества обслуживания. В случае если на маршрутизаторе/коммутаторе АТМ/IP реализуется функция коммутации под внешним управлением, то в них должна быть реализована функция управления со стороны гибкого коммутатора с реализацией протоколов H.248/MGCP (для IP) или ВСС (для АТМ).

В состав транспортной сети NGN могут входить:

- транзитные узлы, выполняющие функции переноса и коммутации;
- оконечные (граничные) узлы, обеспечивающие доступ абонентов к мультисервисной сети;
- контроллеры сигнализации, выполняющие функции обработки информации сигнализации, управления вызовами и соединениями;
- шлюзы, позволяющие осуществить подключение традиционных сетей связи (ТФОП, СПД, СПС).

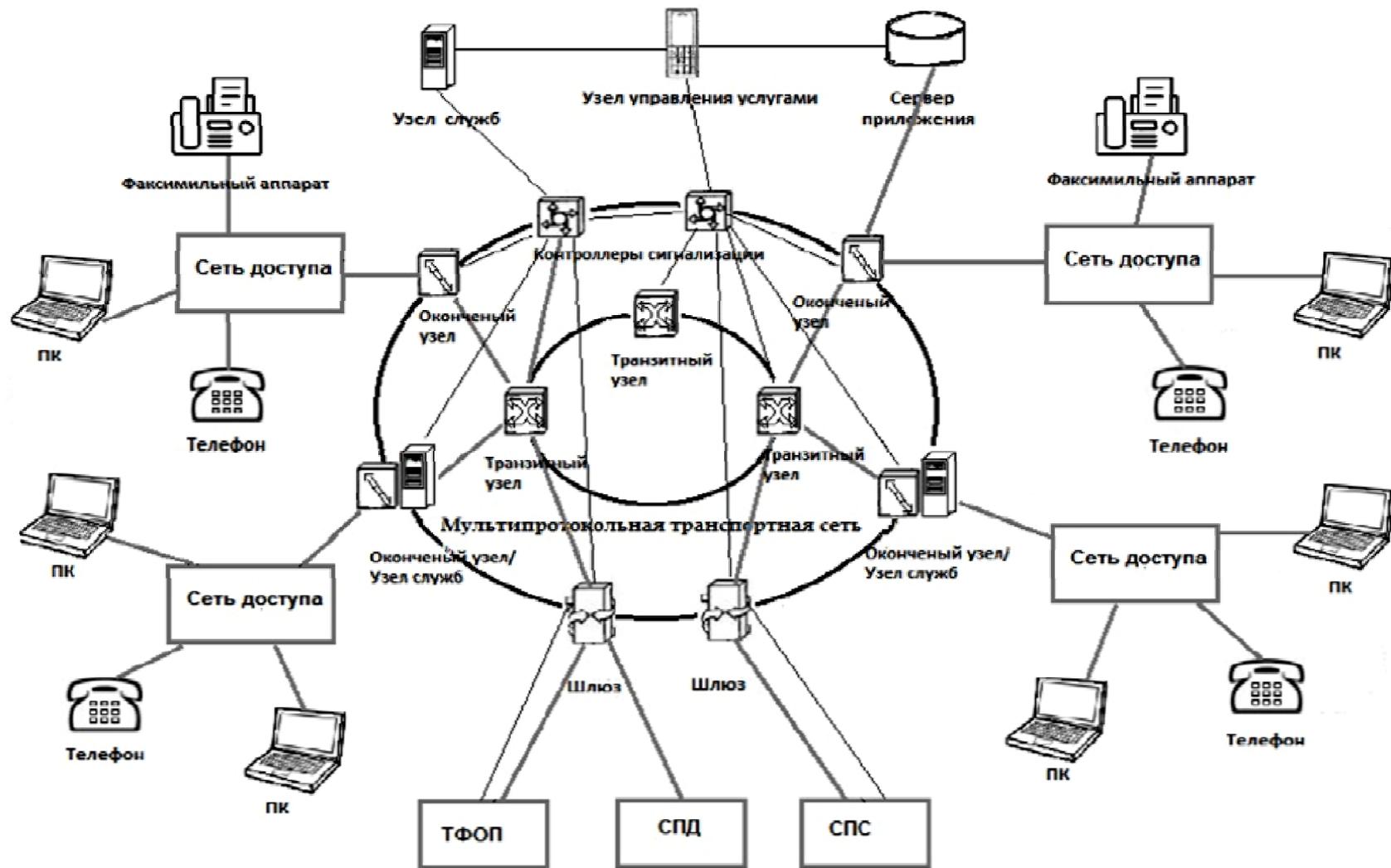


Рис. 3.5. Обобщенная структура транспортного уровня

Контроллеры сигнализации могут быть вынесены в отдельные устройства, предназначенные для обслуживания нескольких узлов коммутации. Использование общих контроллеров позволяет рассматривать их как единую систему коммутации, распределенную по сети.

Такое решение не только упрощает алгоритмы установления соединений, но и является наиболее экономичным для операторов и поставщиков услуг, так как позволяет заменить дорогостоящие системы коммутации большой емкости небольшими, гибкими и доступными по стоимости даже мелким поставщикам услуг. Обобщенная структура транспортного уровня (транспортной сети) представлена на рисунке 3.5. системой или мультипротокольной сетью.

3.5. Уровень управления коммутацией и передачей информации

Задачей уровня управления коммутацией и передачей является управление установлением соединения в фрагменте NGN. Функция установления соединения реализуется на уровне элементов транспортной сети под внешним управлением оборудования гибкого коммутатора. Исключением являются АТС с функциями MGC, которые сами выполняют коммутацию на уровне элемента транспортной сети.

Гибкий коммутатор должен осуществлять:

- обработку всех видов сигнализации, используемых в его домене;
- хранение и управление абонентскими данными пользователей, подключаемых к его домену непосредственно или через оборудование шлюзов доступа;

- взаимодействие с серверами приложений для предоставления расширенного списка услуг пользователям сети.

При установлении соединения оборудование гибкого коммутатора осуществляет сигнальный обмен с функциональными элементами уровня управления коммутацией. Такими элементами являются все шлюзы, терминальное оборудование мультисервисной сети (интегрированные устройства доступа (IAD), терминалы SIP и H.323), оборудование других гибких коммутаторов и АТС с функциями контроллера транспортных шлюзов (MGC).

Для передачи информации сигнализации сети ТФОП через пакетную сеть используются специальные протоколы. Так, для передачи информации сигнализации ОКС7, поступающей через сигнальные шлюзы от ТФОП к оборудованию гибкого коммутатора, используется протокол MxUA технологии SIGTRAN (в то же время в ряде реализаций гибкого коммутатора предусмотрен непосредственный ввод сигнализации ОКС7). В случае использования на сети нескольких гибких коммутаторов, они взаимодействуют по межузловым протоколам (как правило, семейство SIP-T) и обеспечивают совместное управление установлением соединения. На основании анализа принятой информации и решения о последующей маршрутизации вызова оборудование гибкого коммутатора, используя соответствующие протоколы, осуществляет сигнальный обмен по установлению соединения с сетевым элементом назначения и управляет с использованием протокола H.248 (для IP коммутации) или ВСС (для АТМ коммутации) установлением соединения для передачи пользовательской информации. При этом потоки пользовательской информации не проходят через гибкий коммутатор, а замыкаются на уровне транспортной сети.

3.6. Уровень управления услугами

Основной услугой, предоставляемой как в классических сетях связи, так и в мультисервисной сети, является передача информации между пользователями сети. Использование пакетных технологий на уровне транспортной сети позволяет обеспечить единые алгоритмы доставки информации для различных видов связи, а в мультисервисных сетях реализовать возможность поддержки предоставления расширенных списков услуг.

Применительно к услуге телефонии точкой предоставления дополнительных услуг является оборудование гибкого коммутатора или оборудование серверов приложений. Принцип организации услуг показан на рисунке 3.6.

Реализация логики обслуживания вызова в ограниченном числе сетевых точек позволяет оптимизировать структуру доступа к услугам, предоставляемым со стороны интеллектуальных сетей связи. Для этой цели на уровне гибкого коммутатора реализуется функция SSP.

Использование пакетных технологий позволяет обеспечивать совместное предоставление расширенного списка услуг вне зависимости от типа доступа, используемого пользователем. В мультисервисных сетях реализуется возможность предоставления однотипных услуг с различными параметрами классов обслуживания (QoS).

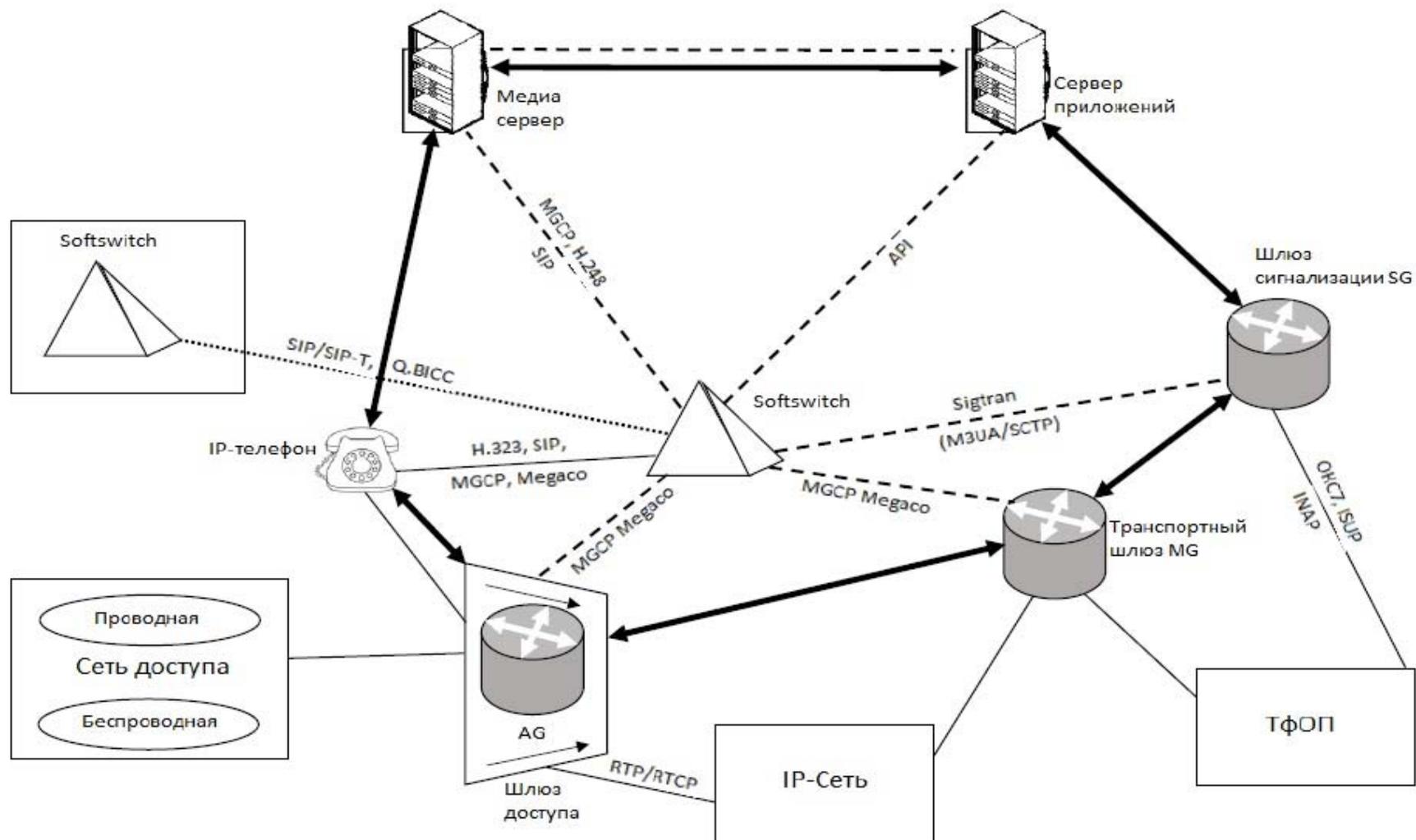


Рис. 3.6. Принцип организации услуг

3.7. Варианты конвергенции NGN

Сети NGN имеют две парадигмы построения: с использованием либо программных коммутаторов (Softswitch) и медиашлюзов (MGW), либо программно-аппаратного комплекса – IMS. Архитектуры Softswitch и IMS имеют известное уровневое деление (абонентских устройств и транспорта, управления вызовами и сеансами, серверов приложений), причем границы этих логических уровней проходят в обеих концепциях/архитектурах практически одних и тех же местах. Просто в архитектуре Softswitch обычно изображают сетевые устройства, а архитектура IMS определяется на уровне функций. Идентичны также идея предоставления всех услуг на базе IP-сети и разделение функций управления вызовом и коммутации.

Прежде всего, Softswitch – это оборудование конвергентных сетей. Функция управления шлюзами является здесь доминирующей. В свою очередь, IMS проектировалась в рамках мобильного сообщества 3GPP, полностью базирующегося на IP. Основным ее протоколом является SIP, позволяющий устанавливать одноранговые сессии между абонентами и использовать IMS лишь как систему, предоставляющую сервисные функции по безопасности, авторизации, доступу к услугам и т. д. Функция управления шлюзами и сам медиашлюз здесь лишь средство для связи абонентов 3G с абонентами фиксированных сетей. Причем имеется в виду только телефонная сеть общего пользования. Протокол SIP, как известно, имеет модификации. Для использования в IMS он был частично доработан и изменен, поэтому может возникнуть ситуация, когда при получении запросов SIP или отправке их во внешние сети в них может обнаружиться отсутствие поддержки соответствующих

расширений протокола SIP, что может привести либо к отказу в обслуживании, либо к некорректной обработке вызова. В IMS частично сглаживаются проблемы совместимости оборудования, присущие «пулу» решений Softswitch, поскольку взаимодействие функциональных модулей регулируется стандартами. Структура современного гибкого программного коммутатора показана на рисунке 3.7.

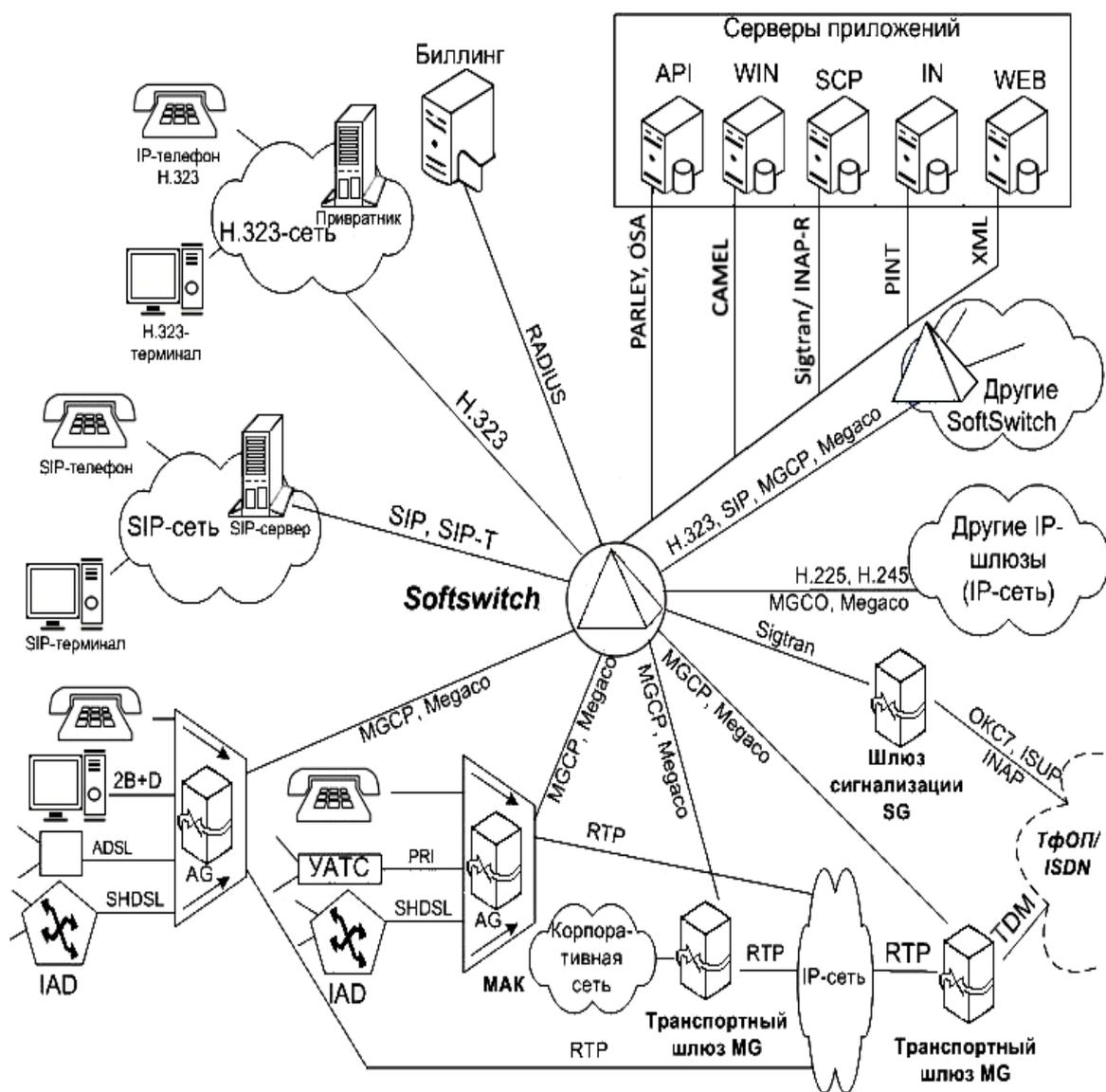


Рис. 3.7. Структура современного Softswitch

Softswitch – это устройство управления сетью NGN, призванное отделить функции управления соединениями от функций коммутации, способное обслуживать большое число абонентов и взаимодействовать с серверами приложений, поддерживая открытые стандарты.

SoftSwitch является носителем интеллектуальных возможностей IP-сети, он координирует управление обслуживанием вызовов, сигнализацию и функции, обеспечивающие установление соединения через одну или несколько сетей.

Термин «Softswitch» используется не только для идентификации одного из элементов сети. С ним связаны и сетевая архитектура, и даже в определенной степени сама идеология построения сети. Для нас же важны выполняемые коммутатором Softswitch функции и его способность решить ряд задач, присущих узлам с коммутацией каналов.

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 Softswitch возложена на входящий в его состав функциональный элемент Call Agent.

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 – Signalling 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). Модели архитектуры Softswitch предусматривают четыре функциональные плоскости (рисунок 3.8):

- транспортная плоскость – отвечает за транспортировку сообщений по сети связи. Включает в себя Домен IP-транспортировки, Домен взаимодействия и Домен доступа, отличного от IP;

- плоскость управления обслуживанием вызова и сигнализации – управляет основными элементами сети IP-телефонии. Включает в себя контроллер медиашлюзов, Call Agent, Gatekeeper;

- плоскость услуг и приложений – реализует управление услугами в сети. Содержит серверы приложений и серверы ДВО;

- плоскость эксплуатационного управления – поддерживает функции активизации абонентов и услуг, техобслуживания, биллинга и другие эксплуатационные задачи.

Основная задача Softswitch – согласовывать разные протоколы сигнализации как сетей одного типа, например, при сопряжении сетей H.323 и SIP, так и при взаимодействии сетей коммутации каналов с IP-сетями.

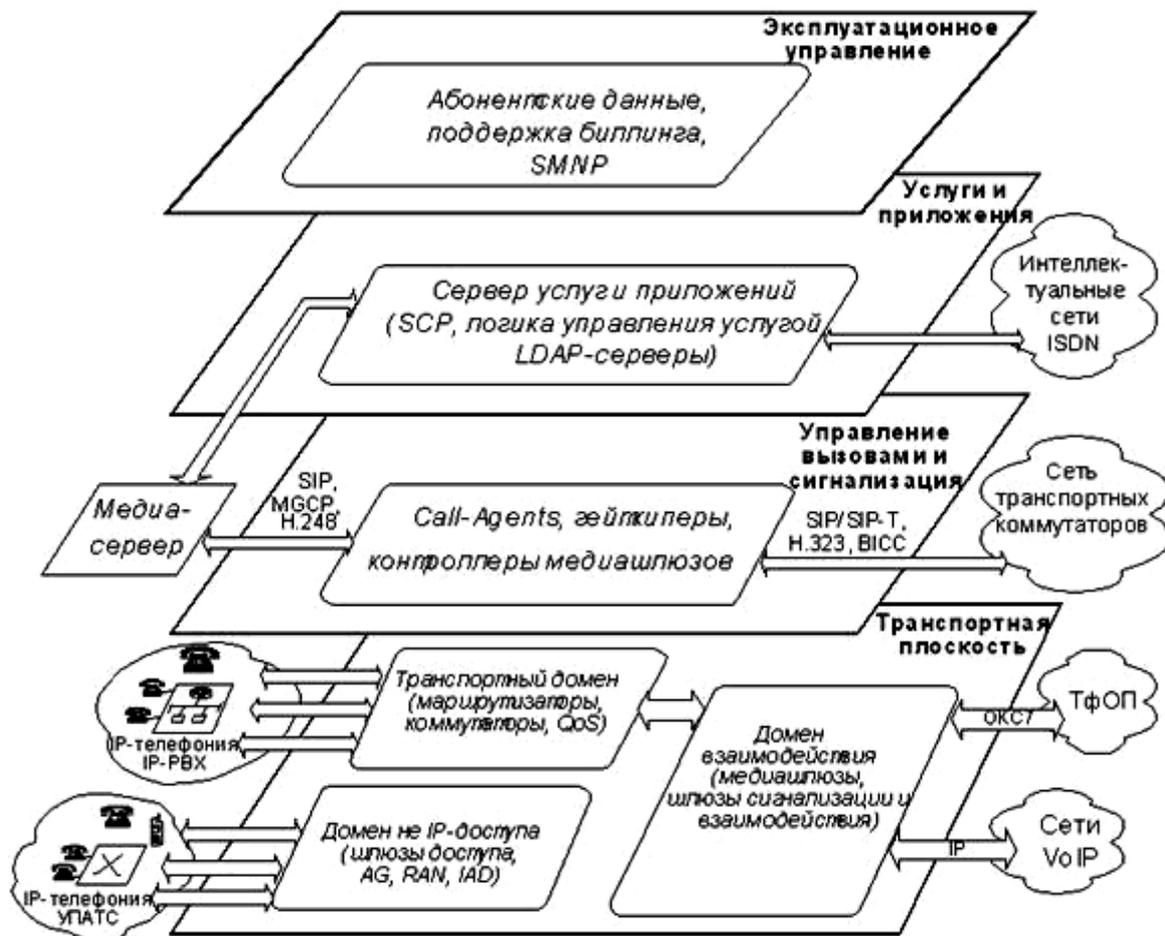


Рис. 3.8. Функциональные плоскости модели Softswitch

Основные типы сигнализации, которые использует SoftSwitch, – это сигнализация для управления соединениями, сигнализация для взаимодействия разных SoftSwitch между собой и сигнализация для управления транспортными шлюзами. Основными протоколами

сигнализации управления соединениями сегодня являются SIP-T, ОКС-7 и H.323. В качестве опций используются протокол E-DSS1 первичного доступа ISDN, протокол абонентского доступа через интерфейс V5, а также все еще актуальная сигнализация по выделенным сигнальным каналам CAS.

Основными протоколами сигнализации управления транспортными шлюзами являются MGCP и Megaco/H.248, а основными протоколами сигнализации взаимодействия между коммутаторами SoftSwitch являются SIP-T и BICC.

Учитывая широкое распространение технологии IP, в NGN предусмотрена особая платформа IMS согласования информационных потоков. Исторически к IMS вели два направления. Эту технологию можно воспринимать как продолжение эволюции интеллектуальных платформ, которая началась более десяти лет назад, когда были утверждены первые стандарты в этой области.

Второй вариант развития событий берет начало в технологии Softswitch. Технология IMS стала продолжением эволюции устройств управления NGN, но теперь к фиксированным сетям присоединились подвижные, и был сделан акцент на 3G.

Технология IMS, стандарты которой являются базовыми для большинства производителей оборудования, позволяет создать однородную среду предоставления широкого спектра мультимедийных услуг, создавая основу конвергенции фиксированных и мобильных сетей. IMS позволяет разрабатывать и предоставлять абонентам сетей фиксированной и мобильной связи персонализированные услуги, основанные на различных комбинациях голоса, текста, графики и видео (чат на экране мобильного телефона, электронная почта, игры и многое другое). Решения IMS значительно

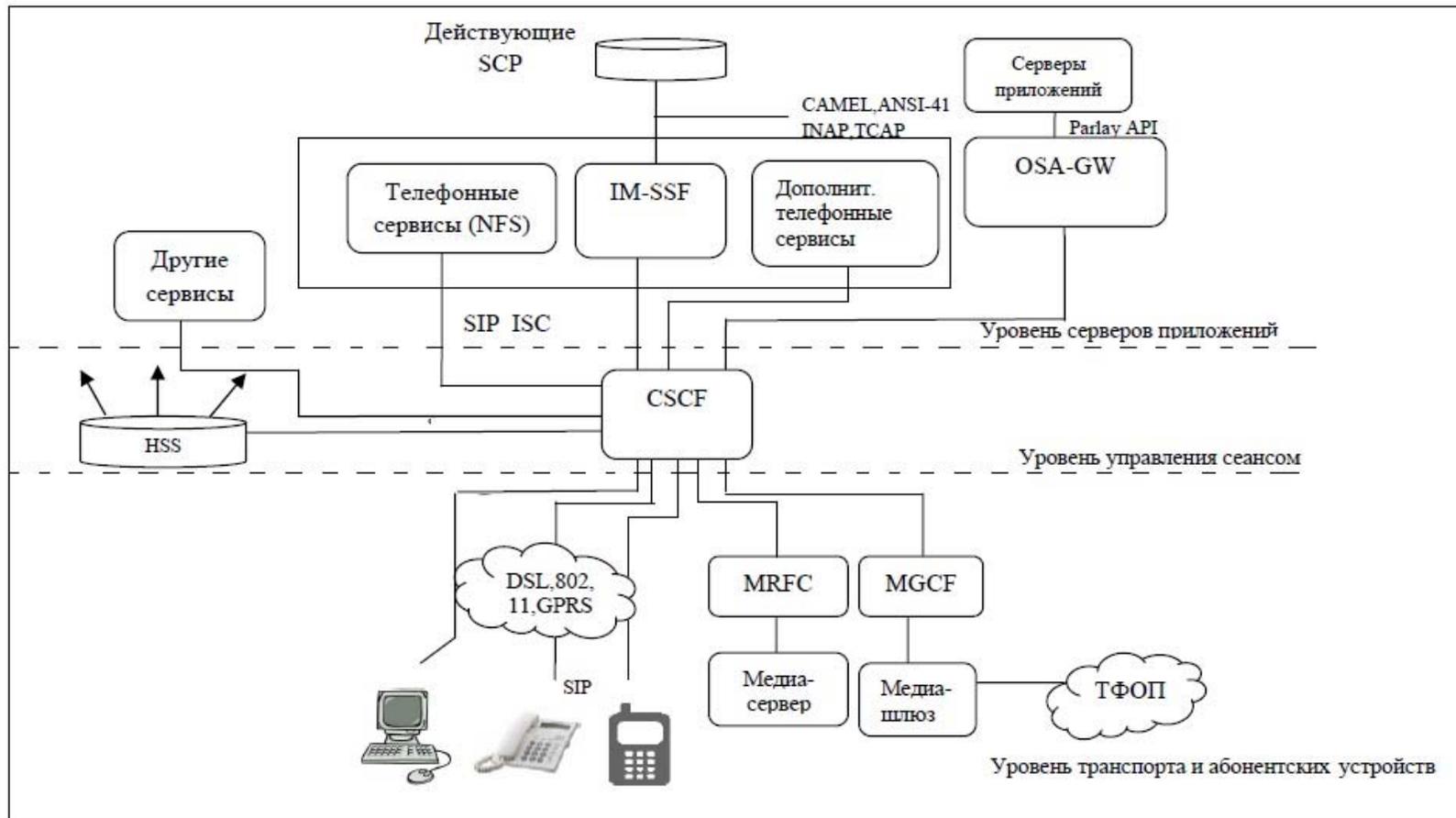
расширяют возможности конечного пользователя за счет предоставления расширенного набора услуг, в том числе тех, которые были невозможны или экономически неэффективны в сетях TDM.

IMS обеспечивает архитектуру, в которой многие функции могут быть использованы с различными приложениями и у разных провайдеров. Это позволяет быстро и эффективно создавать новые услуги и непосредственно предоставлять их. В основе концепции этого стандарта лежит способность IMS передавать сигнальный трафик и трафик в канале через IP-уровень, а также выполнять функции маршрутизатора или механизма управления сессиями абонентов с использованием информации об их состоянии.

Архитектура IMS обычно делится на три горизонтальных уровня:

- транспорта и абонентских устройств;
- управления вызовами и сеансами (функция CSCF и сервер абонентских данных);
- уровень приложений.

Базовые компоненты включают в себя программные коммутаторы, распределенный абонентский регистр (S-DHLR), медиа-шлюзы и серверы SIP. Унифицированная сервисная архитектура IMS поддерживает широкий спектр сервисов, основанных на гибкости протокола SIP (Session Initiation Protocol). В рамках IMS действует множество серверов приложений, предоставляющих как обычные телефонные услуги, так и новые сервисы (обмен мгновенными сообщениями, мгновенная многоточечная связь, передача видеопотоков, обмен мультимедийными сообщениями и т. д.), как показано на рисунке 3.9.



SCP – протокол RCP копирования файлов

TCAP – прикладная часть поддержки транзакций

DSL – очень высокоскоростное соединение

CAMEL – протокол для работы приложений (услуг) с коммутационным оборудованием

OSA-GW – Шлюз открытого сервисного доступа

MRFC – контроль медиасервера

SIP – VOIP протокол прикладного уровня, разработанный IETF

IM-SSF – функция коммутации услуг

ANSI-41 – сигнальный стандарт

CSCF – элемент с функциями управления вызовами и сеансами

HSS – сервер абонентских данных

Рис. 3.9. Элементы сети архитектуры IMS

Базовыми элементами опорной сети архитектуры IMS являются:

- CSCF (Call Session Control Function) – элемент с функциями управления сеансами и маршрутизацией, состоит из трех функциональных блоков;

- P-CSCF (Proxy CSCF) – посредник для взаимодействия с абонентскими терминалами. Основные задачи – аутентификация абонента и формирование учетной записи;

- I-CSCF (Interrogating CSCF) – посредник для взаимодействия с внешними сетями. Основные задачи – определение привилегий внешнего абонента по доступу к услугам, выбор соответствующего сервера приложений и обеспечение доступа к нему;

- S-CSCF (Serving CSCF) – центральный узел сети IMS, обрабатывает все SIP-сообщения, которыми обмениваются оконечные устройства;

- HSS (Home Subscriber Server) – сервер домашних абонентов, является базой пользовательских данных и обеспечивает доступ к индивидуальным данным пользователя, связанным с услугами. В случае если в сети IMS используется несколько серверов HSS, необходимо добавление SLF (Subscriber Locator Function), который занимается поиском HSS с данными конкретного пользователя;

- BGCF – элемент, управляющий пересылкой вызовов между доменом коммутации каналов и сетью IMS. Осуществляет маршрутизацию на основе телефонных номеров и выбирает шлюз в домене коммутации каналов, через который сеть IMS будет взаимодействовать с ТФОП или GSM;

- MGCF – управляет транспортными шлюзами;

- MRFC – управляет процессором мультимедиа ресурсов, обеспечивая реализацию таких услуг, как конференцсвязь, оповещение, перекодирование передаваемого сигнала.

В сетях IMS обеспечиваются услуги: Индикация присутствия (presense), управление групповыми списками, групповое общение (Group Communication), Push-To-Talk, Push-To-Show. Доска для записей (Whiteboard) – услуга, позволяющая двум или нескольким абонентам совместно редактировать рисунки и документы в режиме реального времени; все, что делается одним участником сеанса, видят в режиме on-line все остальные участники, многопользовательские игры в реальном времени (шахматы и другие игры), голосовые вызовы с усовершенствованными функциями (Enriched Voice Calling). Включают видео-телефонию и возможность добавления к вызовам своего контента, совместное использование файлов в сети (File Sharing).

3.8. Softswitch и IMS: сходства и различия

Если сравнить архитектуры Softswitch и IMS, то заметны следующие сходства. Заметно, что и та и другая архитектуры имеют трехуровневое деление, причем границы уровней проходят на одних и тех же местах. Для архитектуры Softswitch изображены в первую очередь устройства сети, а архитектура IMS определена на уровне функций. Идентичны также идея предоставления всех услуг на базе IP-сети и разделение функций управления вызовом и коммутации. По сути, к уже известным функциям Softswitch добавляются функции шлюза OSA и сервер абонентских данных.

Можно заметить, что состав функций технологий практически не отличается. Это верно, но только отчасти: они идентичны в архитектурном смысле. Если же разобрать содержание каждой из функций, то обнаружатся значительные различия в системах Softswitch и IMS. Например, функция CSCF: из ее описания уже видно отличие от аналогичных функций в Softswitch. К тому же если в архитектуре Softswitch функции имеют довольно условное деление и описание, то в документах IMS дается довольно жесткое описание

функций и процедур их взаимодействия, а также определены и стандартизированы интерфейсы между функциями системы.

Различие начинается с основной концепции систем. Softswitch – это в первую очередь оборудование конвергентных сетей. Функция управления шлюзами (и соответственно протоколы MGCP/MEGACO) является в нем доминирующей (протокол SIP для взаимодействия двух Softswitch/ MGC). IMS проектировалась в рамках сети 3G, полностью базирующейся на IP. Основным ее протоколом является SIP, позволяющий устанавливать одноранговые сессии между абонентами и использовать IMS лишь как систему, предоставляющую сервисные функции по безопасности, авторизации, доступа к услугам и т. д. Функция управления шлюзами и сам медиа-шлюз здесь лишь средство для связи абонентов 3G с абонентами фиксированных сетей. Причем имеются в виду лишь ТФОП. Для общения абонентов 3G с абонентами фиксированных VoIP-сетей и абонентами других 3G-сетей архитектура IMS предусматривает использование функции Security Gateway Function, которую реализуют граничные контроллеры SBC.

Также к особенностям IMS относится ориентированность на протокол IPv6: многие специалисты считают, что популярность IMS послужит толчком к затянувшемуся внедрению шестой версии протокола IP.

Но пока это представляет некоторую проблему: сети UMTS поддерживают как IPv4, так и IPv6, в то время как IMS – только IPv6. Поэтому на входе в IMS-сеть необходимо наличие шлюзов, преобразующих формат заголовков и адресную информацию. Эта проблема присуща не только IMS, но и всем сетям IPv6.

3.9. Контрольные вопросы

1. Объективные причины появления сетей нового поколения, что означат понятие «прозрачность сети»?
2. Основные направления повышения эффективности корпоративных сетей в современных условиях.
3. Главные современные направления развития операторов связи.
4. Концептуальные принципы NGN и их краткое содержание.
5. Что понимается в сетевой структуре NGN под термином «мультисервисность»?
6. Что означает в системе NGN понятие «широкополосность»?
7. Что понимается в сетевой структуре NGN под термином «мультимедийность»?
8. Что означает в системе NGN понятие «интеллектуальность»?
9. Что означает в системе NGN понятие «инвариантность доступа»?
10. Что понимается в сетевой структуре NGN под термином «многооператорность»?
11. Перечислить достоинства и недостатки сетей NGN?
12. Суть трехуровневой архитектуры сети NGN и их функциональные особенности.
13. Что понимается под качеством обслуживания в сети NGN?
14. Функциональное назначение плоскости (уровня) абонентского доступа в сети NGN.
15. Поясните структурную схему архитектуры NGN, дайте оценку ее элементов.
16. Суть транспортного уровня сети NGN и его состав.
17. Назначение и состав уровня управления коммутацией и передачей информации.
18. Что понимается под гибкой коммутацией?
19. Решение проблемы сигнализации в сетях NGN.

20. Уровень управления услугами и его особенности.
21. Понятие конвергенции в сетевых технологиях и ее варианты в NGN.
22. Суть программируемых коммутаторов и их реализация в NGN.
23. Обобщенная структура коммутатора Softswitch, функциональное назначение ее элементов.
24. Функции контроллера транспортного шлюза.
25. Функциональные плоскости сети NGN.
26. Назначение платформы IMS и их функциональные особенности.
28. Основные сходства и различия Softswitch и IMS.

Раздел 4. ОПИСАНИЕ КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Лабораторная работа №1. Определение связности сети, численные исследования транспортных сетей различных структур

Цель работы: оценить связность сети предложенной топологии, определить устойчивость транспортной сети, аппроксимированной одной из базовых топологий.

Теоретические сведения

Ключевой концепцией коммуникационных систем является понятие связности, которая определяет, насколько легко добраться из одной точки сети в другую. Существует несколько способов оценки данного параметра. Выбор конкретного способа – это задача маршрутизации. Вместе с этим, возникает другая проблема: насколько хорошо различные части сети соединены друг с другом. Существует также проблема надежности. Если узел или звено сети отказывают, каким образом доставить необходимую информацию в требуемый узел сети?

Различают связность по звеньям и по узлам. Связность по звеньям сети не может превышать ее минимальной степени, а связность по узлам не может быть больше, чем связность по звеньям. Регулярными методами оценки связности сети являются алгоритм Клейтона и алгоритм Ивена.

Суть алгоритма Клейтона (алгоритм №1)

Шаг 1. Выберите любой узел N_I .

Шаг 2. Убедитесь, что узловая связность выбранного узла N_I со всеми другими узлами равна, по крайней мере, m .

Шаг 3. Удалите узел N_I и все его связи.

Шаг 4. Выберите второй узел N_2 .

Шаг 5. Убедитесь, что узел N_2 имеет $m-1$ соединений со всеми другими узлами.

Шаг 6. Удалите узел N_2 и все его связи.

Шаг 7. Выберите третий узел N_3 .

Шаг 8. Убедитесь, что узел N_3 имеет, по крайней мере, $m-2$ соединений со всеми другими узлами.

Шаг 9. Повторяйте процедуру, пока не дойдете до узла m , т. е. выберите узел N_m и убедитесь, что он соединен, по крайней мере, еще с одним узлом.

Если проверки всех шагов проходят удовлетворительно, то сеть имеет связность, равную, по крайней мере, m . Если хотя бы в одной точке алгоритма проверка не выполняется, то связность не равна m .

Суть алгоритма Ивена (алгоритм №2)

Алгоритм Ивена, проверяющий, имеет ли сеть узловую связность, равную, по крайней мере m , выполняется следующим образом.

Шаг 1. Пронумеруйте узлы от 1 до N .

Шаг 2. Сформируйте подмножество из узлов с номерами от 1 до m , где m – искомая связность.

Шаг 3. Проверьте, что каждый узел в этом подмножестве имеет, по крайней мере, m маршрутов с разделенными узлами к каждому из других узлов в этом подмножестве.

Шаг 4. Если предыдущий шаг неуспешен, то связность меньше m . Если шаг успешен, то перейдите к следующему этапу.

Шаг 5. Для каждого из оставшихся j узлов ($m \leq j \leq N$) сформируйте подмножество узлов L , содержащие набор, заданный в шаге 1 (размера m), увеличенный на число узлов из множества J .

Шаг 6. Добавьте к сети новый (фиктивный) узел X и соедините его с каждым узлом множества L . Проверьте, что между узлом X и каждым узлом j существует, по крайней мере, m маршрутов с разделенными узлами. Затем добавьте к множеству L узел j , удаленный из множества J , и продолжите процедуру со следующим узлом j .

Если выполнение всех шагов завершается успехом, сеть имеет связность равную m .

При исследовании устойчивости и оптимальности структуры транспортной сети связи произвольной структуры целесообразно аппроксимировать ее какой-либо базовой топологией: кольцевой структурой, двойной кольцевой структурой или K -связной структуре. Результаты исследований целесообразно свести в таблицы.

В таблицах целесообразно принять следующие обозначения:

N – число узлов связи;

m – связность узлов связи;

L – средняя длина маршрута сети (определяется на основании эмпирических данных);

r – число звеньев сети (число ребер графа сети).

В целях уменьшения количества переменных отдельные параметры объединяются в обобщенные коэффициенты. Введем понятие обобщенного структурного показателя R_0 , приняв его равным $R_0 = L/r$.

Для оценки устойчивости сети вводится коэффициент защиты элементов сети Z . Значение этого параметра целесообразно изменять в пределах от 0,1 до 0,99, при этом необходимо учитывать, что $P_{кр}(z) \leq 1$. Опыт эксплуатации транспортных сетей различных базовых топологий показывает, что вероятность выхода сети из строя может быть определена по формуле

$$P_{кр}(Z) = \frac{1}{Z} \left(1 + \frac{R_0}{2} - \sqrt{R_0 + \frac{R_0^2}{4}} \right), \quad (4.1)$$

а структурная устойчивость может быть определена по формуле

$$Q_{стр.уст}(K_n, \tau) = \frac{1 - P_{кр}(Z)}{1 - P_{кр}(Z) + R_0 \left(1 + \frac{K_n(1 - P_{кр}(Z))}{R_0 + \tau(1 - P_{кр}(Z))} \right)}. \quad (4.2)$$

В выражении (4.2) параметр K_n указывает на отсутствие готовности транспортной системы к выполнению поставленных задач. Этот параметр может принимать значения в пределах от 0,1 до 0,3.

Параметр τ определяет относительную интенсивность восстановления отказов. Целесообразно изменять этот параметр в пределах от 0,5 до 0,95, при этом $\tau = 0,5$ характеризует очень низкие показатели по восстановлению системы связи.

Запас структурной устойчивости определяется из условия поражения транспортной сети связи с вероятностью $P_n = 0,5$, что является наиболее худшим условием.

$$\Delta Q = Q_{стр.уст}(1 - P_n). \quad (4.3)$$

Транспортная сеть связи в указанных условиях обладает достаточной структурной устойчивостью, если значение ΔQ оказывается в пределах 0,2...0,3.

Варианты лабораторной работы приведены в таблице 4.1. Отчет по лабораторной работе представляется в письменном виде с необходимым табличным и графическим материалом, соответствующими выводами.

Функцию $Q_{стр.уст}(K_n, \tau)$ представить в виде графика двух переменных. Для этого в системе Mathcad, например, можно использовать следующую структуру операторов:

график поверхности $Q_{стр.уст}(K_n, \tau)$

$N := 10$

$i := 0..N$ $j := 0..N$ $x_i := 0,5 + 0,5 * i$ $y_j := 0,1 + 0,03 * i$

$f(x, y) :=$ набрать формулу (4.2), приняв $K_n = x$, $\tau = y$.

$M_{i,j} := f(x_i, y_j)$, если далее использовать набор операторов вида $f1(x, y) = f(x, y) - 0.5$ и $M1_{i,j} := f1(x, y)$, будет непосредственно получена поверхность $\Delta Q(K_n, \tau)$. Целесообразно включить опцию «Невидимые линии».

Задание на лабораторную работу

1. По заданному варианту представить топологию сети и определить предложенным способом связность сети.
2. Вычислить параметр $P_{кр}(Z)$, изменяя значение Z в пределах от 0,4 до 0,95. Построить график зависимости.
3. Используя самостоятельно выбранные значения $P_{кр}(Z)$, построить двумерный график поверхности $Q_{стр.уст}(K_n, \tau)$ и оценить ΔQ для худшего и лучшего значения $Q_{стр.уст}(K_n, \tau)$.
4. Сравнить полученные результаты численных исследований для различных топологий транспортной сети связи.
5. Составить отчет о проведенных исследованиях.

Таблица 4.1

Варианты заданий для оценки связности сети заданной структуры

Вариант	Топология сети	Способ оценки связности сети
1	ABCLEFA, BE, AC, DF	По Клейтону
2	ABCLEFA, BE, AC, DF	По Ивену
3	ABCDKFA, AK, CF, BF	По Клейтону
4	ABCDKFA, AK, CF, BF	По Ивену
5	ABCDFA, AC, BF, BD	По Клейтону
6	ABCDFA, AC, BF, BD	По Ивену
7	ABCDА, AD,СВ	По Клейтону
8	ABCDА, AD,СВ	По Ивену
9	ABCDFEA, BE, BF, CA, CE, CF, DA	По Клейтону
10	ABCDFEA, BE, BF, CA, CE, CF, DA	По Ивену
11	ABCDFEA, BE, CF	По Клейтону
12	ABCDFEA, BE, CF	По Ивену
13	ABCDFE, АК,ВК, СК, DK, FK, EK	По Клейтону
14	ABCDFE, АК,ВК, СК, DK, FK, EK	По Ивену
15	ABCDFEA, CE, BD, AF	По Клейтону

Таблица 4.2

Варианты заданий для оценки структурной устойчивости транспортной сети

Вариант	Структура сетей	N	L (кольцевая)	L (m -связная)
1	Кольцевая; 3-связная	9; 20; 40	2,53; 4,76; 9,26	1,63; 3,13; 5,37
2	Двойн. кольцевая; 4-связная	7; 23; 45	1,63; 2,7; 3,09	1,18; 2,8; 4,26
3	Кольцевая; 5-связная	9; 17; 38	1,53; 4,26; 6,26	1,83; 4,13; 6,37
4	Двойн. кольцевая; 3-связная	8; 22; 39	1,22; 2,6; 3,5	1,08; 3,8; 5,16
5	Кольцевая; 3-связная	9; 23; 40	1,53; 4,46; 9,87	1,53; 2,13; 4,27
6	Двойн. кольцевая; 4-связная	9; 20; 45	1,6; 2,79; 3,49	2,18; 3,8; 5,26
7	Кольцевая; 5-связная	9; 22; 40	2,53; 5,26; 7,26	1,83; 4,13; 6,37
8	Двойн. кольцевая; 3-связная	6; 25; 49	3,72; 2,71; 3,69	1,08; 3,8; 5,16
9	Кольцевая; 6-связная	9; 27; 42	2,53; 4,76; 9,26	1,63; 3,13; 5,37
10	Двойн. кольцевая; 3-связная	7; 21; 49	1,63; 2,7; 3,09	1,18; 2,8; 4,26
11	Кольцевая; 4-связная	8; 26; 41	1,53; 4,26; 6,26	1,83; 4,13; 6,37
12	Двойн. кольцевая; 3-связная	5; 23; 45	1,22; 2,6; 3,5	1,08; 3,8; 5,16
13	Кольцевая; 3-связная	8; 23; 44	1,53; 4,46; 9,87	1,53; 2,13; 4,27
14	Двойн. кольцевая; 4-связная	9; 21; 38	1,6; 2,79; 3,49	2,18; 3,8; 5,26
15	Кольцевая; 5-связная	7; 22; 35	2,53; 5,26; 7,26	1,83; 4,13; 6,37

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилией студента и номером учебной группы.
2. Структурная схема сети связи и результаты исследований по оценке связности сети заданной структуры.
3. График зависимости $P_{кр}(Z)$ и результаты расчетов параметра $\Delta Q(K_n, \tau)$.
4. Выводы по полученным данным расчетов и сравнительным оценкам.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение транспортной сети связи.
2. Перечислите базовые топологии сетей связи.
3. Дайте определение понятиям «Связность по звеньям», «Связность по узлам», в каком отношении они находятся друг к другу?
4. Суть алгоритма Клейтона для определения связности сети.
5. Суть алгоритма Ивена для определения связности сети.
6. Дайте пример равномерной m -связной структуры транспортной сети.
7. Что понимается под структурной устойчивостью сети связи?

Лабораторная работа № 2. Расчет показателей эффективности статистического мультиплексирования в зависимости от параметров источника

Цель работы: оценить выигрыш от использования технологии АТМ с применением статистического мультиплексирования нескольких видов информации относительно метода многоскоростной коммутации каналов.

Теоретические сведения

Физическая природа значительных диапазонов изменения характеристик случайных процессов передачи битового трафика в сетях с технологией АТМ в значительной мере обусловлена нерегулярностью генерации информации разнообразными источниками, получившими в указанной технологии наименование служб. Обозначим через k число служб. Генерирование информации источником k -й службы может быть представлено случайным процессом $b^{(k)}(t)$. Процесс передачи информации продолжается в течение отрезка времени T .

Для оценки трафика АТМ (Рек. МСЭ ИТУ-Т I.311) вводят понятие максимальной (пиковой) скорости источника k -й службы

$$B_{\max}^{(k)} = \max b^{(k)}(t), \quad (4.4)$$

средней скорости передачи источника k -й службы

$$B_{cp}^{(k)} = \frac{1}{T} \int_0^T b^{(k)}(t) dt, \quad (4.5)$$

соотношением между пиковой и средней скоростью источника k -й службы, получившим название коэффициента пачечности

$$k_n^{(k)} = \frac{B_{\max}^{(k)}}{B_{cp}^{(k)}}, \quad (4.6)$$

а также средней длительностью пика $T_n^{(k)}$. Данные по отдельным службам приведены в Приложении А.

Для передачи данных от разнородных источников информации, объединенных по принципу статистического мультиплексирования, используют стандартные наборы скоростей B_{mp} . В настоящее время регламентированы следующие скорости линейных трактов: СТМ-1 155,520 Мбит/с; СТМ-4 622,080 Мбит/с; СТМ-16 2488,320 Мбит/с.

Предельно допустимое число виртуальных соединений $N_{vc}^{(k)}$ только для одной k -й службы в линейном тракте при допустимом значении вероятности потери ячейки можно определить по соотношению

$$N_{vc}^{(k)} = \frac{B_{mp}}{k_{потерь}^{(k)} \sum_{s=1}^n B_{cp}^{(s)} k_n^{(s)}}. \quad (4.7)$$

Здесь $k_{потерь}^{(k)}$ – коэффициент потерь, зависящий от вероятности потери ячейки в системе АТМ. Значение этого коэффициента приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3

Значение коэффициента потерь для различных служб
в зависимости от вероятности потери ячейки

Вероятность потери ячейки	$k_{потерь}^{(k)}$			
	Телефония	Передача файлов	Видео	Поиск документов
10^{-6}	1,00	1	0,3	1,00
10^{-5}	1,01	2	0,35	2,3
10^{-4}	1,08	3	0,4	3,7
10^{-3}	1,15	4	0,45	5,1

В последующем целесообразно использовать графический метод оценки виртуальных соединений различных служб, организованных в цифровом групповом тракте связи. Получив значения $N_{ес}^{(k)}$ для отдельных служб, целесообразно построить плоскость предельных значений, откладывая по осям координат значения $N_{ес}^{(k)}$.

Например, для значения $N_{ес}^{mf}$ выбирается ось Ox , для значения $N_{ес}^{video}$ выбирается ось Oy , а для значения $N_{ес}^{пер.файлов}$ выбирается ось Oz . Соединяя полученные таким образом точки отрезками прямых линий, получаем плоскость, которая определяет предельные значения трафика для данной сети связи для служб телефонии, передачи видео и высокоскоростной передачи файлов. Выбор любой точки на полученной плоскости XYZ определит параметры полипачечного трафика для указанных трех служб.

Целесообразно оценить полученный выигрыш по пропускной способности системы с АТМ технологией относительно обслуживания абонентов методом многоскоростной коммутации каналов. Для расчетов необходимо использовать данные таблицы 4.3. При этом следует учитывать, что 1 Кбит = 1024 бита, 1 Мбит = 1024² бита.

Задание на лабораторную работу

1. Используя данные таблицы 4.3 и соответствующего варианта задания, осуществить расчет необходимых показателей $N_{sc}^{(k)}$.
2. Построить плоскость предельно допустимых значений трафика АТМ.
3. Выбрать рабочую точку на плоскости и оценить возможности полипачечного трафика.
4. Оценить выигрыш от применения технологии АТМ по сравнению с технологией обслуживания абонентов методом многоскоростной коммутации каналов.
5. Сделать выводы и представить отчет в письменном виде.

Таблица 4.4

Варианты заданий

Вариант	Типы служб	Вероятность потери ячейки	Скорость линейного тракта
1	Тф, факс, видеоТф	10^{-3}	СТМ-1
2	Данные, документы, Тф	10^{-4}	СТМ-4
3	Факс, Тф, видео	10^{-5}	СТМ-1
4	Тф, данные, видео	10^{-4}	СТМ-4
5	Факс, файлы, видео	10^{-3}	СТМ-1
6	Тф, видео, данные	10^{-5}	СТМ-4
7	Тф, факс, видеоТф	10^{-4}	СТМ-1
8	Данные, документы, Тф	10^{-5}	СТМ-4
9	Факс, Тф, видео	10^{-3}	СТМ-16
10	Тф, данные, видео	10^{-5}	СТМ-1
11	Факс, файлы, видео	10^{-4}	СТМ-4
12	Тф, видео, данные	10^{-3}	СТМ-16
13	Файлы Тф, данные	10^{-5}	СТМ-1
14	Факс, файлы, видео	10^{-4}	СТМ-4
15	Тф, факс, видеоТф	10^{-3}	СТМ-16

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилией студента и номером учебной группы.
2. Результаты расчета предельных значений $N_{bc}^{(k)}$.
3. График плоскости предельных значений скоростей передачи анализируемых служб и выбор рабочей точки.
4. Расчет возможных параметров служб для выбранной рабочей точки.
5. Сравнение полученных данных с технологией обслуживания абонентов методом многоскоростной коммутации каналов.
6. Выводы по полученным данным расчетов и сравнительным оценкам.

Контрольные вопросы

1. Принцип статистического мультиплексирования.
2. Суть синхронного мультиплексирования с разделением времени.
3. Суть асинхронного мультиплексирования с разделением времени.
4. Основные параметры трафика широкополосных цифровых систем информационного обмена.
5. Понятие службы в технологии АТМ.
6. Основные аспекты управления трафиком в сетях АТМ.
7. Суть соглашения по трафику между пользователем и сетью.
8. Классы качества обслуживания в сетях АТМ. Особенности обслуживания пользователей в сетях FR.

Лабораторная работа №3. Расчет вероятности доставки сообщений в сложной сети связи

Цель работы: используя аналитические выражения, характерные для расчета простейших СМО, оценить вероятность доставки сообщений в сложной сети связи.

Теоретические сведения

В простейших СМО обычно рассчитывается вероятность отказа в обслуживании, которая определяется по формуле Эрланга

$$P_{отк} = \frac{\frac{\alpha^n}{n!}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!}} . \quad (4.8)$$

В этой формуле значение n указывает на число каналов связи, принадлежащих звену системы связи $i-j$, где i и j – номера узлов связи; α – безразмерная величина, получившая наименование приведенной плотности потока заявок, значение этого коэффициента определяется по формуле

$$\alpha = \frac{\lambda}{\mu} , \quad (4.9)$$

где λ – плотность простейшего потока заявок (обычно измеряется числом заявок за час), а $\mu = \frac{1}{\bar{t}_{cp}}$ – величина, обратная среднему времени \bar{t}_{cp} обслуживания заявки, которое в данной работе указывается в минутах. Для правильного решения поставленной задачи размерность времени в указанных показателях СМО должна быть приведена к одинаковым единицам.

Определив значение вероятности отказа для каждого звена системы связи, приступают к анализу возможности доставки сообщения с заданной вероятностью. В системах связи нормируется именно этот показатель. Обычно вероятность обслуживания заявки должна соответствовать значению $P_{обсл} = 1 - P_{от} \geq 0,95$.

Задание на лабораторную работу

1. Используя соответствующий вариант задания, составить схему сети с указанием числа каналов на каждом направлении.
2. Построить диагональную матрицу для однонаправленного графа с вероятностями обслуживания потока ячеек АТМ на каждом направлении связи.
3. Оценить интегральное направление транспортной системы от узла с №1 к узлу с №6.
4. В случае невыполнения требований по доставке сообщений выработать и обосновать предложения по улучшения системы связи за счет изменения параметров отдельных направлений связи.
5. Сделать выводы и представить отчет в письменном виде.

Таблица 4.5

Варианты заданий

Вариант	1-2 2 кан.		1-4 6 кан.		1-5 3 кан.		2-3 6 кан.		3-6 4 кан.		4-3 10 кан.		4-5 8 кан.		4-6 3 кан.		5-6 3 кан.	
	λ	\bar{t}_{cp}	λ	\bar{t}_{cp}	λ	\bar{t}_{cp}	λ	\bar{t}_{cp}	λ	\bar{t}_{cp}								
1	21	1	12	2	45	3	23	2	11	1	41	1	18	1	12	1	23	1
2	29	1	17	1	43	2	54	3	23	1	43	2	34	1	18	2	21	2
3	22	1	13	1	60	1	34	2	64	1	32	3	23	1	19	3	28	3
4	43	1	19	1	42	4	23	3	34	1	47	2	54	1	16	2	54	2
5	32	2	14	1	67	2	18	4	32	1	54	2	52	1	18	1	32	1
6	31	2	15	2	43	1	19	3	34	1	58	4	64	1	23	2	43	3
7	10	2	13	2	42	2	24	2	35	2	63	5	64	1	24	3	32	4
8	11	2	19	3	46	3	28	3	32	2	42	4	61	1	26	4	21	5
9	19	2	12	2	54	2	29	3	54	2	24	3	43	1	27	3	32	4
10	17	1	21	1	44	1	21	2	32	2	57	4	51	1	32	2	43	3
11	21	1	24	2	51	2	42	3	46	2	27	3	67	1	18	1	32	4
12	23	1	26	3	37	3	43	1	41	2	21	1	52	1	17	2	32	5
13	43	1	11	3	31	1	45	3	46	3	37	3	18	1	13	3	42	2
14	24	3	16	3	39	2	23	3	41	3	43	4	19	1	14	2	21	2
15	27	1	21	3	42	1	21	2	32	3	64	3	23	1	18	2	22	3

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилией студента и номером учебной группы.
2. Структурную схему системы связи с нумерацией узлов связи.
3. Результаты расчета вероятности отказа для каждого звена системы связи (в виде таблицы).
4. Расчет вероятности доставки сообщения от узла связи 1 до узла связи 6.
5. В случае не выполнения условия $P_{обсл} = 1 - P_{от} \geq 0,95$, выработать предложения по модернизации системы связи.
6. Выводы по полученным данным расчетов и сравнительным оценкам.

Контрольные вопросы

1. Изложить принцип расчета доставки сообщений через последовательно-параллельные звенья системы связи.
2. Суть формулы Эрланга и значение параметров, определяющих ее состав.
3. Дать определение сети доступа.
4. Дать определение транспортной системы современной широкополосной цифровой системы информационного обмена.
5. Дать определение связности системы связи. Оценить этот параметр для выбранного варианта.
6. Указать влияние связности системы связи на процесс доставки сообщения от одного узла связи к другому.

Лабораторная работа №4. Оценка параметров коммутаторов АТМ

Цель работы: оценить основные параметры коммутатора АТМ нокаутного типа.

Теоретические сведения

В разработке коммутаторов АТМ особое внимание уделялось и уделяется трем взаимосвязанным аспектам

- конструкции коммутационного поля (межсоединительной матрице);
- разрешению внутренних и выходных конфликтов;
- организации очередей.

Существенным продвижением на пути создания коммутаторов АТМ стала архитектура, предложенная Баньяном-Бэтчером. Коммутаторы подобного типа устраняли внутренние блокировки и сохраняли конфликтные ячейки.

В последующем получает развитие новое направление, результатом которого послужила разработка коммутаторов нокаутного типа. В таком коммутаторе использование фронтальной N^2 матрицы обеспечивает гибкую, полностью неблокируемую связность с N выходными портами. Концепция шинной матрицы стала популярной и широко используется в современных коммутаторах АТМ.

В нокаутном коммутаторе число победителей преднамеренно ограничивается, а избыточные ячейки в случае необходимости сбрасываются. В этой связи необходимо оценить вероятность потери ячейки. Такое событие может произойти при одновременном достижении одного и того же выхода несколькими ячейками и может быть оценено выражением

$$P_{ня} = \frac{1}{P} \sum_{k=m+1}^N (k-m) C_N^k \left(\frac{P}{N}\right)^k \left(1 - \frac{P}{N}\right)^{N-k}. \quad (4.10)$$

Здесь N – число входов коммутатора; P – нагрузка выходного канала, а m – число ячеек, достигших одновременно одного и того же выхода.

Задание на лабораторную работу

1. Используя выражение (4.10), оценить графоаналитическим методом вероятность потери ячейки при различных значениях m и $P = 0,9$. Целесообразно изменять этот параметр от 1 до 10.
2. Выявить зависимость $P_{ня}$ от двух параметров: m и P , изменяя значения m от 1 до 10, а значение P от 0,5 до 0,95.
3. Используя прикладную программу Mathcad, представить график зависимости $P_{ня}(m, P)$.
4. Оценить возможности коммутатора при заданных параметрах, выявить влияние роста числа входов коммутатора на исследуемую зависимость $P_{ня}(m, P)$.
5. Сделать выводы и представить отчет в письменном виде.

Таблица 4.6

Варианты заданий

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
N_1	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
N_2	80	60	70	70	80	70	10	10	10	20	20	20	20

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилией студента и номером учебной группы.
2. Результаты расчета вероятности потери ячейки в зависимости от числа соревнующихся ячеек.
3. Расчет вероятности потери ячейки как функция двух переменных $P_{ня}(m, P)$.
4. Выводы по полученным данным расчетов и сравнительным оценкам.

Контрольные вопросы

1. Назвать основные тенденции развития коммутаторов АТМ.
2. Основные особенности коммутаторов с пространственным разделением.
3. Суть коммутационной структуры коммутаторных структур матричного типа.
4. Назвать особенности буферизации в точках пересечения коммутатора матричного типа.
5. Изложить особенности выходной буферизации в коммутаторах матричного типа.
6. Назвать особенности коммутатора баньяновидного типа.
7. Суть баньяновидной коммутационной структуры Бэтчера.
8. Базовая структура коммутатора нокаутного типа.
9. Коммутаторы АТМ с пространственным разделением.
10. Базовая структура интегрированного коммутатора.

Лабораторная работа №5. Исследование модели процесса поступления ячеек на выход коммутатора в виде независимых испытаний Бернулли

Цель работы: исследовать модель процесса поступления ячеек на вход коммутатора АТМ в виде независимых испытаний Бернулли.

Теоретические сведения

Пусть коммутатор АТМ имеет N входных портов и K выходных портов. Предполагается, что все выходные порты обладают одинаковой пропускной способностью, при этом моменты поступления ячеек по разным каналам синхронизированы. Это фактически означает, что временная ось разбита на сегменты, длительность которых равна времени передачи ячейки АТМ по каналу связи.

Примем также, что каждая ячейка предназначена для единственного выходного порта, однако корреляция направлений дальнейшего следования между поступающими ячейками отсутствует, так что сразу несколько ячеек АТМ из числа поступающих на N входов коммутатора в некотором временном сегмента могут предназначаться для последующей передачи через один и тот же выходной порт.

Простейшая модель трафика предполагает описание процесса поступления ячеек на N входов коммутатора в виде независимых испытаний Бернулли с параметром P . Требуемый для передачи выходной порт для каждой ячейки выбирается независимо и с равной вероятностью $\frac{P}{K}$ из всего множества K выходных портов. Такая модель называется однородной моделью независимого трафика. В случае стационарной очереди вероятность события, что ячейка, покидающая систему, оставит обслуживающий прибор свободным (или вероятность того, что в момент освобождения обслуживающего прибора к нему не будет очереди), равна $1 - \frac{PN}{K}$.

На основе таких рассуждений можно получить аналитические соотношения для определения среднего значения $M[q]$ и дисперсии $D[q]$ числа ячеек, находящихся в системе для стационарного режима. Используя такие соотношения, можно рассчитать необходимую емкость буферных устройств и время задержки в них ячеек АТМ.

Математическое ожидание определяется соотношением

$$M[q] = P'(1) + \frac{1}{2} \frac{P''(1)}{1 - P'(1)}, \quad (4.11)$$

где $P'(1) = \frac{N}{K}P$; а $P''(1) = \frac{N(N-1)}{K^2}P^2$.

Дисперсия оценивается соотношением

$$D[q] = \frac{1}{3} \frac{P'''(1)}{1-P'(1)} + \frac{1}{4} \left[\frac{P''(1)}{1-P'(1)} \right]^2 + P''(1)[1-P'(1)] + \frac{1}{2} \frac{P''(1)[3-2P'(1)]}{1-P'(1)}, \quad (4.12)$$

где $P'''(1) = \frac{N(N-1)(N-2)}{K^3} P^3$.

Очевидно, при $K=1$ оценивается концентратор АТМ.

При $K=N$ оценивается сетевой коммутатор. При $N > K$ оценивается мультиплексор.

Вид формул (4.11) и (4.12) говорит, что получены они с помощью Z -преобразований (в аналитических соотношениях вместо Z поставлена 1).

Задание на лабораторную работу

1. Используя выражение (4.11) и (4.12), по заданным P, N и K оценить значения $M[q]$ и $D[q]$.
2. Изменить самостоятельно значение параметра P относительно заданного в большую или меньшую сторону и выявить зависимость $M[q]$ и $D[q]$ от P . Целесообразно иметь три точки.
3. Оценить возможности коммутатора при заданных параметрах, выявить влияние роста числа входов коммутатора на исследуемые зависимости.
4. Сделать выводы и представить отчет в письменном виде.

Варианты заданий

Варианты	P	N	K
1	0,8	40	15
2	0,8	40	20
3	0,8	40	25
4	0,8	40	35
5	0,9	40	40
6	0,9	80	40
7	0,9	80	50
8	0,9	80	60
9	0,95	80	70
10	0,95	80	80
11	0,95	100	60
12	0,95	100	70
13	0,99	100	80
14	0,99	100	90
15	0,99	100	100

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилией студента и номером учебной группы.
2. Результаты расчета математического ожидания и его зависимость от параметра P .
3. Результаты расчета дисперсии и ее зависимость от параметра P .
4. Расчет $M[q]$ и $D[q]$ для концентратора.
5. Выводы по полученным данным расчетов и сравнительным оценкам.

Контрольные вопросы

1. Суть биномиального распределения вероятностей.
2. Основные особенности многокаскадных сетей коммутации.
3. Принцип адресации ячеек в АТМ.

4. Особенности уровня адаптации в АТМ.
5. Особенности выходной буферизации в коммутаторах матричного типа.
6. Особенности коммутатора баньяновидного типа.
7. Суть баньяновидной коммутационной структуры Баньяна-Бэтчера.
8. Базовая структура коммутатора нокаутного типа.
9. Коммутаторы АТМ с пространственным разделением.
10. Базовая структура интегрированного коммутатора.

Лабораторная работа №6. Исследование возможностей входных буферных накопителей коммутатора матричного типа

Цель работы: исследовать характеристики буферного устройства входа коммутатора матричного типа.

Теоретические сведения

Проблемы буферизации потока ячеек в коммутаторах АТМ решаются за счет накопления ячеек на входе коммутатора, внутри коммутатора и на выходе коммутатора. На выходе коммутатора, как правило, создаются два буфера: один для потока с высоким приоритетом обслуживания, например, для обработки речевых сигналов, другой – для обслуживания данных, время доставки которых не является критичным. Буферизация на входе коммутатора и внутри коммутатора необходима для регулирования входного потока ячеек, а также в точках коммутации и изменения направления движения ячеек от входа коммутатора к его выходу.

В одном узле коммутации тратится время на обработку адресной части каждой ячейки и включение соответствующего направления ее движения $t_{\text{анализа}} \approx 100 \text{ нс}$. В матричном коммутаторе с N входами N выходами с учетом всех N ступеней коммутации общее время обработки ячейки конкретного направления можно выразить выражением $\bar{t}_{\text{обс}} = t_{\text{анализа}} \cdot N$.

Если на вход коммутатора поступает поток ячеек с интенсивностью λ , то приведенная плотность потока ячеек α на одном входе коммутатора окажется равной $\alpha = \lambda t_{\text{обс}}$.

Общая производительность коммутатора определяется выражением $Q = 53 \times 8 \times \lambda \cdot N \text{ бит/с}$. Для определения емкости буфера на одном входе коммутатора необходимо знать среднее время ожидания в очереди. Этот параметр случаен и подчиняется показательному закону распределения с параметром $\gamma = \frac{1}{\bar{t}_{\text{ож}}}$. Отсюда

$\beta = \frac{\bar{t}_{\text{обс}}}{\bar{t}_{\text{ож}}}$. Если через s обозначить число требований, ожидающих обслуживания, то среднее число требований, ожидающих обслуживания на одном входе коммутатора определяется выражением

$$M_{\text{ож}} = \frac{\alpha \sum_{s=1}^{\infty} \frac{s \alpha^s}{\prod_{m=1}^s m \beta}}{\sum_{k=0}^{\infty} \frac{\alpha^k}{k!} + \alpha \sum_{s=1}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s m \beta}}. \quad (4.13)$$

Поскольку суммирование до бесконечности невозможно, в ходе численного эксперимента используют приближенные значения вида

$$\sum_{s=r}^{\infty} \frac{s\alpha^s}{\prod_{m=1}^s m\beta} < \frac{\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^r}{(r-1)!} e^{\frac{\alpha}{\beta}}, \quad (4.14)$$

$$\sum_{s=r}^{\infty} \frac{\alpha^s}{\prod_{m=1}^s m\beta} < \frac{\left(\frac{\alpha}{\beta}\right)^r}{r!} e^{\frac{\alpha}{\beta}}. \quad (4.15)$$

Зная $M_{ож}$, можно рассчитать вероятность отказа в обслуживании

$$P_{от} = \frac{\beta}{\alpha} M_{ож}. \quad (4.16)$$

Таблица 4.8

Варианты заданий

Вариант	N	λ ячеек/с	$\bar{t}_{обс}$ с	$\bar{t}_{ож}$ с	r
1	20	$1,2 \cdot 10^6$	$3 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-5}$	10
2	30	$1,0 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-5}$	20
3	40	$1,4 \cdot 10^6$	$7 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-5}$	30
4	20	$1,4 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-5}$	40
5	30	$2,0 \cdot 10^6$	$4 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-5}$	50
6	40	$1,4 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-5}$	60
7	20	$1,2 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-5}$	80
8	30	$1,4 \cdot 10^6$	$9 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-5}$	10
9	40	$2,0 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^{-5}$	$6 \cdot 10^{-5}$	20
10	20	$1,0 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	30
11	30	$1,2 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-5}$	40
12	40	$1,0 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-5}$	50
13	20	$2,0 \cdot 10^6$	$8 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-5}$	60
14	30	$1,0 \cdot 10^6$	$5 \cdot 10^{-6}$	$8 \cdot 10^{-5}$	80
15	40	$1,4 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^{-5}$	$8 \cdot 10^{-5}$	40

Задание на лабораторную работу

1. Используя выражение (4.14), по заданным λ , $\bar{t}_{обс}$ и N оценить общую пропускную способность коммутатора АТМ матричного типа.
2. Применяя выражение (4.15) и (4.16), по заданным $\bar{t}_{ожс}$ и $s = r$ оценить среднее число ячеек ожидающих обслуживания во входном буфере коммутатора.
3. Оценить вероятность записи ячейки в буферное устройство Бэтчера.
4. Сделать выводы и представить отчет в письменном виде.

Содержание отчета

1. Титульный лист с названием лабораторной работы, номером варианта, фамилией студента и номером учебной группы.
2. Результаты расчета общей пропускной способности коммутатора.
3. Результаты расчета среднего числа ячеек, находящихся в буфере на одном входе коммутатора.
4. Расчет вероятности отказа в обслуживании ячейки. Выводы по полученным данным расчетов и сравнительным оценкам.

Контрольные вопросы

1. Какова причина появления технологии АТМ?
2. Дать сравнительную характеристику протоколам взаимодействия ТСП/IP и АТМ.
3. Принцип защиты информации в АТМ.
4. Принципы защиты от перегрузок в сетях АТМ.
5. Классы качества обслуживания абонентов АТМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Накопленный опыт эксплуатации различных сетевых технологий, развитие рынка услуг связи привели к массовому внедрению современных систем и средств связи, характерные черты которых – мультисервисность, мультимедийность и мультипротокольность. Отказ от жесткой иерархии, характерной для классических телефонных сетей общего пользования и сетевых технологий, под воздействием внедрения новых средств связи, принципов передачи и обработки информации с коммутацией пакетов привели к существенному изменению сетевых архитектур.

Благодаря Internet стало ясно, что провайдеру не обязательно иметь собственную транспортную систему, а спектр услуг вышел за рамки традиционных услуг связи, что привело к функциональному разделению уровня транспортной коммутируемой сети и уровня формирования услуг. Технический прогресс привел к неизбежному изменению экономической ситуации на рынке телекоммуникационных услуг, обострению конкуренции в динамичных секторах этого рынка, таких как мобильная связь, Internet, услуги для корпоративных пользователей. Это выразилось в разделении бизнес-модели оператора новых услуг на две части: инфраструктурную (создание и обслуживание сети) и сервисную (связанную с маркетингом).

Изменяется статус инфокоммуникационных услуг. Сеть как материальный носитель телекоммуникационных услуг теряет свою ценность, но усиливается роль собственно услуги. Появляется множество условно бесплатных услуг, основанных на эксплуатации сети Internet (например, услуга, предоставляемая по Skype), которые приобретают свою популярность, а также появляются новые услуги.

Исходя из принципа волнообразного процесса смены одних сетевых технологий другим, более совершенными, происходит неизбежное снижение инвестиционной привлекательности, конкурентоспособности и рентабельности традиционных систем связи.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бакланов, И. Г. Методы измерений в системах связи / И.В. Бакланов ; ред. А.Б. Иванова. – Москва : Эко-трендз, 1999. – 196 с.
2. Назаров, А. Н. Модели и методы расчета структурно-сетевых параметров сетей АТМ / А.Н. Назаров. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2002. – 256 с.
3. Васин, Н. Н. Технологии пакетной коммутации. Часть 1. Основы построения сетей пакетной коммутации : учебное пособие / Н.Н. Васин. – Самара : ПГУТИ, ИУНЛ, 2014. – 239 с.
4. Васин, Н. Н. Технологии пакетной коммутации. Часть 2. Маршрутизация и коммутация : учебное пособие / Н. Н. Васин. – Самара : ПГУТИ, 2015. – 261 с.
5. Карташевский, В. Г. Компьютерные сети : учебник / В.Г. Карташевский, Б. Я. Лихтциндер, Н. В. Киреев, М. А. Буранов. – Самара : ПГУТИ, 2016. – 265 с.
6. Косоруков, О.А. Исследование операций / О.А. Косоруков, А.В. Мищенко. – Москва : Экзамен, 2003. – 448 с.
7. Гладких, А. А. Основы теории мягкого декодирования избыточных кодов в стирающем канале связи / А. А. Гладких. – Ульяновск : УлГТУ, 2010. – 379 с.
8. Гладких, А. А. Методы эффективного декодирования избыточных кодов и их современные приложения / А. А. Гладких, Р. В. Климов, Н. Ю. Чилихин. – Ульяновск, 2016. – 258 с.
9. Деарт, В. Ю. Мультисервисные сети связи. Протоколы и системы управления сеансами (Softwich/IMS) : учебное пособие / В. Ю. Деарт. – Москва : Брис-М, 2011. – 198 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Характеристики служб и классов пользователей

Служба	Класс пользователей	V_{\max} (бит/с)	k_n	T_n	Длительность сеанса связи, (с)	Входящая нагрузка, (Эрланг)	Число вызовов А
Телефония	БС	64 К	2	100	100	0,1	3,6
	ДС	64 К	2	100	100	0,4	14,4
	УАТС	64 К	2	100	100	4,5	162,0
Факс (цветной)	ДС	2 М	1	3	3	0,01	12,0
	УАТС	2 М	1	3	3	0,03	12,0
Передача файлов	ДС	2 М	1	1	1	0,02	10,8
	УАТС	2 М	1	1	1	2,70	10,8
Видеотелефония	БС	10 М	5	1	100	0,02	0,72
	ДС	10 М	5	1	100	0,02	0,72
	УАТС	10 М	5	1	100	0,1	3,60
Поиск видео	БС	10 М	54	10	540	0,03	0,2
	ДС	10 М	18	10	180	0,10	2,0
	УАТС	10 М	18	10	180	0,40	8,0
	Центральные службы	10 М	48	1	480	2,33	46,2
Поиск документов	БС	64 К	200	0,25	300	0,05	0,6
	ДС	64 К	200	0,25	300	0,25	3,0
	УАТС	64 К	200	0,25	300	0,50	6,0
	Центральные службы	64 К	200	0,25	300	2,30	39,6
Данные по требованию	ДС	64 К	200	0,04	30	0,20	24,0
	УАТС	64 К	200	0,04	30	0,60	72,0

Учебное электронное издание
 ГЛАДКИХ Анатолий Афанасьевич
 РАЗВИТИЕ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И СЕТИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
 Учебное пособие с описанием комплекса лабораторных работ

ЛР № 020640 от 22.10.97.

Редактор Н. А. Евдокимова

Технический редактор Ю. С. Лесняк

ЭИ № 954. Объем данных 2,7 Мб.

Печатное издание

Подписано в печать 30.06. 2017. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 7,20. Тираж 70 экз. Заказ № 662.

Ульяновский государственный технический университет,
 432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.

ИПК «Венец» УлГТУ, 432027, Ульяновск, Сев. Венец, 32.

Тел.: (8422) 778-113; E-mail: venec@ulstu.ru; venec.ulstu.ru